



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften
Institut für Kartographie

D i p l o m a r b e i t

Verfahren zur Ableitung kleinerer Maßstäbe aus
Daten der Digitalen Übersichtskarte der Stadt
Dresden 1:25.000

von **Karsten Pippig**

geboren am 06.02.1984 in Schwerin

zum Erlangen des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.)

Tag der Einreichung 07. 12. 2010

*Betreuer Dr. rer. nat. Nikolas Prechtel
Technische Universität Dresden*

*Dipl.-Ing. Beate Weißker
Landeshauptstadt Dresden, Vermessungsamt*



Aufgabenstellung für die Diplomarbeit

Studiengang: Kartographie
Name des Studenten: Karsten Pippig
Thema: **Verfahren zur Ableitung kleinerer Maßstäbe aus Daten der Digitalen Übersichtskarte der Stadt Dresden 1:25000**

Zielsetzung:

Ausgehend von Daten und Inhalten der Übersichtskarte 1 : 25 000 des Städtischen Vermessungsamtes soll ein effizientes Verfahren entwickelt werden, welches eine gut lesbare und ästhetisch ansprechende Kartendarstellung in den Folgemaßstäben 1 : 50 000 und 1 : 90 000 ermöglicht. Dieses Verfahren soll aus der GIS-Software ArcGIS heraus nutzbar sein und das Ziel haben, ein reproduzierbares standardisiertes Kartenprodukt bei reduzierter manueller Interaktion zu erzeugen.

Die Aufgabe impliziert die Anwendung einer Reihe auszuwählender und ggf. anzupassender Verfahren zur Modellgeneralisierung (semantisch-selektiv und geometrisch) sowie die Gestaltung und Erzeugung eines Musterblattes. Es wird dabei angeregt, die Generalisierungsschritte funktional von der Kartenerstellung zu trennen, um die vereinfachten Daten via ArcSDE in die Datenbank zurückspielen zu können.

Für die neu erzeugten Maßstäbe ist neben einer Version mit allen Inhaltsebenen auch eine reduzierte Form mit ausgewählten Ebenen zur Nutzung als Grundlagenkarten vorzusehen.

Das Städtische Vermessungsamt unterstützt die Arbeiten durch Bereitstellung eines ArcGIS-Arbeitsplatzes mit Zugriff auf alle notwendigen Daten und durch fachliche Auskünfte.

Die Arbeit umfasst folgende Hauptschritte:

- Einarbeitung in das Datenmodell des Stadtvermessungsamtes und der außerhalb des Stadtgebietes genutzten ATKIS-Daten)
- Analyse des Generalisierungsbedarfes (1 : 50 000 und 1 : 90 000)
- Analyse bestehender elementarer Generalisierungsfunktionen in ArcGIS und außerhalb des Systems
- Programmierung einer Applikation zur (einfachen) Modellgeneralisierung für ArcGIS
- Test und Dokumentation von interaktiv aufzulösenden Konflikten
- Aufbereitung der Daten für ArcSDE
- Kartenblattgestaltung für die Maßstäbe 1 : 50 000 und 1 : 90 000
- Dokumentation der notwendigen interaktiven kartographischen Gestaltungsmaßnahmen.

Abzugeben ist neben der Druckfassung in drei Exemplaren auch eine digitale Version der Diplomarbeit. Ebenso hat der Diplomand ein A0-Poster zu übergeben, welches die wesentlichen Ergebnisse der Diplomarbeit veranschaulicht

Betreuer: Dr. Nikolas Prectel (TUD)
Dipl.-Ing. Beate Weißker (St. Vermessungsamt LHS Dresden)

Ausgehändigt am: 26.4.2010

Einzureichen am: 26.10.2010



Prof. Dr. Manfred Buchroithner
Prüfungsausschuss



Dr. Nikolas Prectel
Betreuer (TUD)

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die von mir am heutigen Tage der Diplomkommission der Fachrichtung Geowissenschaften eingereichte Diplomarbeit
zum Thema

***„Verfahren zur Ableitung kleinerer Maßstäbe aus Daten der Digitalen
Übersichtskarte der Stadt Dresden 1:25.000“***

vollkommen selbstständig und nur unter Benutzung der in der Arbeit angegebenen Literatur angefertigt wurde.

Dresden, den 07. 12. 2010

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle sei allen gedankt, die zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt Dipl.-Ing. Beate Weißker und Dr. Nikolas Prectel für ihre motivierende Betreuung und ihre hilfreichen Ratschläge, auch über das Fachliche hinaus. Ihre Tür stand mir jederzeit bei Fragen und Problemen offen.

Ebenso sei Prof. Dr. Dirk Burghardt gedankt, der mit seinen Anregungen und Vorschlägen gleichermaßen wertvolle Unterstützung gab.

Kurzfassung

Die kartographische Generalisierung ist eines der zentralen Themengebiete der Kartographie. Seit den 1960er Jahren vollzieht sich ein Entwicklungsprozess in der Generalisierung vom freien praktischen Generalisieren in Abhängigkeit von den Fähigkeiten des Kartenbearbeiters hin zur regelhaften rechengestützten Automation. Bis heute sind viele Fragen in Bezug auf die vollautomatische Generalisierung offen. Die vorliegende Arbeit widmet sich dieser Thematik und liefert einen Lösungsansatz für die automatische Ableitung der Daten des Städtischen Vermessungsamtes Dresden in 1:25.000 und des ATKIS Basis-DLMs in kleinere Folgemaßstäbe. Dabei werden die einzelnen Generalisierungsprozeduren und -abläufe im Einzelnen sowie in ihrer gesamten Komplexität betrachtet. Elementare Vorgänge beim Generalisieren, wie das Auswählen, Klassifizieren, Zusammenfassen, Überdimensionieren, Verdrängen und Vereinfachen (insbesondere Linienglättung) werden beschrieben und zu einem Gesamtablauf zusammengefügt. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Flächenaggregation benachbarter Flächen unter Wahrung der topologischen Verhältnisse zu linienhaften Objekten. Das Ergebnis der Arbeit ist eine eigenständige Applikation, die zukünftig das Städtische Vermessungsamt Dresden bei der Laufendhaltung seiner Daten unterstützen wird.

Abstract

Cartographic generalization is one of the most pivotal issues in cartography. From the 1960s on, a development from free practical map generalization depending on the abilities of the mapmaker towards a scale-determined computer assisted automation has taken place. By today, many open questions concerning the entirely automatic generalization are still remaining. This thesis addresses the issue of automatic generalization and provides a solution for the automatic derivation of data from Dresden's Municipal Survey Office in 1:25.000 and ATKIS Base DLM into smaller scales. The generalization procedures will be considered both in detail and as a whole. Elementary generalization procedures, such as selection, classification, regrouping, amplification, displacement and simplification (particularly line smoothing) will be described and combined to form a complete process. The focus is set on aggregation of adjacent areas, while maintaining the topological relationship to line objects. The result is a stand-alone application being capable of supporting Dresden's Municipal Survey Office in revising its data.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
Abkürzungsverzeichnis	XII
1 Einleitung und Motivation	1
1.1 Allgemeine Einführung	1
1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit	2
2 Grundlagen der Generalisierung	3
2.1 Generalisierung in der Kartographie	3
2.2 Kartographische Modelltheorie und Modellbildung im digitalen Umfeld	5
2.3 Modell- und kartographische Generalisierung	7
2.4 Rahmenmodelle der digitalen Generalisierung	8
2.4.1 Brassel-Weibel-Modell	9
2.4.2 McMaster-Shea-Modell	10
2.5 Elementare Generalisierungsvorgänge	11
2.5.1 Klassifikation	15
2.5.2 Flächenaggregation	15
2.5.3 Flächenexpansion und -reduktion durch morphologische Operatoren	16
2.5.4 Verdrängung	18
2.5.4.1 Nickerson-Algorithmus	19
2.5.4.2 Linienverdrängung mittels Energieminimierung	22
2.5.5 Geometrietypwechsel	26
2.5.5.1 Dimensionswechsel von Fläche zu Linie	27

2.5.5.2	Dimensionswechsel von Fläche zu Punkt	29
2.5.6	Linienvereinfachung und Linienglättung	30
2.5.6.1	Douglas-Algorithmus	31
2.5.6.2	McMaster-Algorithmus	32
2.5.7	Generalisierungsoperatoren in ausgewählten kommerziellen GIS	33
3	Datenmodelle der Digitalen Übersichtskarte der Stadt Dresden	35
3.1	Datenmodelle des Städtischen Vermessungsamtes Dresden	35
3.1.1	Erweitertes Straßenknotennetz (ESKN)	35
3.1.2	Erweiterte Blockkarte (EBK)	36
3.2	ATKIS Basis-DLM	38
4	Generalisierungsverfahren und Parametrisierung	40
4.1	Anforderungen an das Generalisierungsergebnis und -verfahren	40
4.2	Gesamtablauf des Generalisierungsverfahren	41
4.3	Algorithmen- und Parameterwahl für die Generalisierungsoperatoren	44
4.3.1	Anpassung der Selektion	44
4.3.2	Anpassung der Klassifikation	47
4.3.3	Anpassung der Zusammenfassung	48
4.3.4	Anpassung der Überzeichnung	51
4.3.5	Anpassung des Geometrietypwechsels	52
4.3.6	Anpassung der Linienglättung und Linienvereinfachung	54
4.3.7	Anpassung der Verdrängung	56
5	Programmtechnische Umsetzung	58
5.1	Weiterentwicklungsmöglichkeiten von GIS-Applikationen durch objekt-orientiertes Programmieren	58
5.2	ArcObjects und FMEObjects	60
5.3	Programmaufbau	61
5.3.1	Oberflächengestaltung	61
5.3.2	Module	62
5.3.3	Prozeduren	64
5.3.3.1	Button1_Click	64
5.3.3.2	Prozeduren des Modules FMEObj	66

5.3.3.3	Klassifikationsprozeduren	67
5.3.3.4	Zusammenfassungsverfahren	70
5.3.3.5	Vergrößerungsverfahren	71
5.3.3.6	Morphologieprozeduren	72
5.3.3.7	Geometrietypwechsel- und Flächenaggregationsprozeduren	73
5.3.3.8	Kantenmodellprozedur	80
5.3.3.9	Punktsignaturenableitungsverfahren	81
5.3.3.10	Linienglättungs- und Punktneuorientierungsprozeduren	82
5.4	Tabellen der Parameterdatenbank und ihre Strukturen	84
5.5	Handlungsanweisungen für den Nutzer	87
6	Evaluation der Ergebnisse	89
6.1	Evaluierung zur Nachbearbeitung	90
6.2	Numerisch beschreibende Evaluierung	91
6.3	Evaluierung zur Gütebestimmung	94
6.4	Individuelle subjektive Bewertung	96
6.5	Vergleich mit der amtlich-topographischen Karte	98
7	Fehleranalyse und Dokumentation interaktiv zu lösender Konflikte	100
8	Zusammenfassung und Ausblick	102
	Literaturverzeichnis	104
	Anhangsverzeichnis	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1	Aufbau raumbezogener Daten	6
Abbildung 2.2	Kartographische Modelltheorie	6
Abbildung 2.3	Modellgeneralisierung im Gesamtsystem der rechnergestützten Generalisierung topographischer Landschaftsinformationen nach Schoppmeyer.	8
Abbildung 2.4	Konzeptioneller Rahmen der Generalisierung von Brassel & Weibel	9
Abbildung 2.5	Konzeptioneller Rahmen der digitalen Generalisierung von McMaster & Shea	10
Abbildung 2.6	Elementare Vorgänge der kartographischen Generalisierung	12
Abbildung 2.7	Elementare Generalisierungsoperatoren	13
Abbildung 2.8	Typologie der Generalisierungsoperatoren	14
Abbildung 2.9	Beispiel für Dilatation und Erosion	17
Abbildung 2.10	Beispiel zum Öffnen	18
Abbildung 2.11	Beispiel zum Schließen	18
Abbildung 2.12	Prioritätenberechnung zweier sich überlappender Linien	20
Abbildung 2.13	Verdrängung an einem gemeinsamen Knoten	22
Abbildung 2.14	Mittellinienbildung	29
Abbildung 2.15	Beispiel für die Funktionsweise des Douglas-Algorithmus	32
Abbildung 2.16	Beispiel für die Funktionsweise des McMaster-Algorithmus	33
Abbildung 3.1	Grobräumige Gliederungsebenen der Basisblockkarte	37
Abbildung 3.2	Ausgestaltungsklassen des DLMs	39
Abbildung 4.1	Gesamtablauf des Generalisierungsverfahrens	42
Abbildung 4.2	Beispiel für die semantische und geometrische Zusammenfassung von Objekten	50
Abbildung 4.3	Ergebnisse des Geometrietywechsel mit verschiedenen Pufferweiten	53
Abbildung 4.4	Unerwünschte Flächenprojektionen auf Straßen	54
Abbildung 4.5	Vergleich verschiedener Linienvereinfachungs- und Linienglättungsalgorithmen mit weitgehend gleichen Parametern	55
Abbildung 4.6	Vergleich verschiedener Parameter für die Verdrängung auf Basis von Snakes	57

Abbildung 5.1	Ausschnitt aus dem Geometry-Objektmodell von ArcObjects	59
Abbildung 5.2	Programmoberfläche	62
Abbildung 5.3	Übersicht über die Programmmodule	63
Abbildung 5.4	Flussdiagramm der Prozedur Button1_Click	65
Abbildung 5.5	Allgemeines Flussdiagramm der Prozeduren von FMEObj	66
Abbildung 5.6	Flussdiagramm zur Klassifizierung der Stadtdaten	68
Abbildung 5.7	Datenableitung in FME.KlassifikationSTADT	68
Abbildung 5.8	Flussdiagramm zur Klassifizierung der ATKIS-Daten	69
Abbildung 5.9	Datenableitung in FME.KlassifikationATKIS	69
Abbildung 5.10	Flussdiagramm zum Zusammenfassen benachbarter Flächen	70
Abbildung 5.11	Datenableitung in FMEObj.Zusammenfassen	71
Abbildung 5.12	Flussdiagramm zur Vergrößerung von Flächen	72
Abbildung 5.13	Datenableitung in FMEObj.Morphologie	72
Abbildung 5.14	Flussdiagramm für die Erosion und Dilatation	73
Abbildung 5.15	Datenableitung in FMEObj. PreAggregation	74
Abbildung 5.16	Datenableitung von Point-in-Polygon	75
Abbildung 5.17	Flussdiagramm zum Geometrietypwechsel	75
Abbildung 5.18	Flussdiagramm der Funktion ReshapePolygon aus Reshape	76
Abbildung 5.19	Ungünstige Geometrieüberschneidung	78
Abbildung 5.20	Datenableitung in FMEObj.Clipper	79
Abbildung 5.21	Datenableitung in FMEObj.Clipper2	79
Abbildung 5.22	Datenableitung in FMEObj.Bereinigung	80
Abbildung 5.23	Datenableitung in FMEObj.TopologieModell	81
Abbildung 5.24	Datenableitung in FMEObj.Punktsignaturen	81
Abbildung 5.25	Datenableitung in FMEObj.Linienglättung	83
Abbildung 6.1	Generalisierte Karte in 1:50.000 mit Markierungen über positive und negative Beispiele	97
Abbildung 6.2	Ausschnitt aus der generalisierten Übersichtskarte Dresdens	99
Abbildung 6.3	Ausschnitt aus der DTK50 „Dresden“ (L4948)	99

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Einteilung verschiedener Glättungs- und Vereinfachungsalgorithmen	30
Tabelle 2.2	Implementierte Generalisierungsoperatoren in ArcInfo, ArcGIS und FME	34
Tabelle 4.1	Auswahl der Objekte aus dem ESKN	44
Tabelle 4.2	Auswahl der Fließgewässer 1. und 2. Ordnung	45
Tabelle 4.3	Auswahl der Flächenobjekte des Basis-DLMs	46
Tabelle 4.4	Auswahl der Linienobjekte des Basis-DLMs	46
Tabelle 4.5	Auswahl der Punktoobjekte	46
Tabelle 4.6	Objektarten nach der Klassifikation von Flächenobjekten	47
Tabelle 4.7	Klassifikation der Linienobjekte des Basis-DLMs	48
Tabelle 4.8	Prioritätentabelle zur Bestimmung von Klassenverwandtschaften	49
Tabelle 5.1	Tabellenstruktur von Parameter	84
Tabelle 5.2	Tabellenstruktur von StadtF	84
Tabelle 5.3	Tabellenstruktur von UmlandF	85
Tabelle 5.4	Tabellenstruktur von StadtL	85
Tabelle 5.5	Tabellenstruktur von UmlandL	85
Tabelle 5.6	Tabellenstruktur von Priorität	86
Tabelle 5.7	Tabellenstruktur von Ueberhalt	86
Tabelle 6.1	Vergleich der Flächenobjekte vor und nach dem Generalisierungsprozess	91
Tabelle 6.2	Vergleich der manuell bereinigten Flächenobjekte im Hinblick auf Übereinstimmung mit dem Auswahlgesetz	92
Tabelle 6.3	Vergleich der ESKN-Daten im Hinblick auf Übereinstimmung mit dem Auswahlgesetz nach der Generalisierung	93
Tabelle 6.4	Ausführung zur Qualitätseinschätzung	97

Abkürzungsverzeichnis

AAA	AFIS-ALKIS-ATKIS
AFIS	Amtliches Festpunktinformationssystem
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
ATKIS	Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem
BBK	Basisblockkarte
COM	Component Object Model
DKM	Digitales kartographisches Modell
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOM	Digitales Objektmodell
EBK	Erweiterte Blockkarte
ESKN	Erweitertes Straßenknotennetz
FEM	Finite Element Methode
FME	Feature Manipulation Engine
GIS	Geoinformationssystem
OK	Objektartenkatalog
SDE	Spatial Database Engine
SKN25	Straßenknotennetz in 1:25.000
SKN5	Straßenknotennetz in 1:5.000
SQL	Structured Query Language
STRAGIS	Straßen-Geoinformationssystem
VB(A)	Visual Basic (for Application)

Kapitel 1 | Einleitung und Motivation

1.1 Allgemeine Einführung

Der grundlegende Wandel unserer Gesellschaft von der Industrie- zur Informationsgesellschaft in den letzten Jahrzehnten führte zu neuen Kommunikations- und Informationstechnologien. Der Bedarf, mit möglichst geringem finanziellen und personellen Aufwand eine schnelle und effiziente Datenverarbeitung durchzuführen, spielt bei der Entwicklung neuer Technologien eine entscheidende Rolle. In den Geowissenschaften führte dieser Prozess zur Entwicklung von Geo-Informationssystemen (GIS), die es ermöglichen, verschiedenste raumbezogene Daten zu verarbeiten, auszuwerten und zu speichern.

Die anhaltende dynamische Weiterentwicklung der Geo-Informationssysteme bedingt ein grundlegendes Umdenken in der Kartographie. Galt die Kartographie bislang als Fachgebiet, das sich mit der Herstellung analoger Karten und kartenverwandter Darstellungen beschäftigt hatte, befasst sie sich heute mit dem Sammeln, Auswerten und Speichern von Geodaten sowie insbesondere mit der Visualisierung dieser raumbezogenen digitalen Daten. Die neuen Aufgabenfelder der Kartographie setzen jedoch effiziente GIS-Komponenten, welche die graphische Darstellung von Geodaten ermöglichen, voraus. Klassische kartographische Arbeitsschritte können und sollten hierbei einfließen und übertragen werden. Dabei stellen sowohl die kartographische Generalisierung als ein wesentlicher und notwendiger Arbeitsschritt bei der graphischen Darstellung von Geodaten als auch die vollständige Automation der Generalisierung ein zentrales Forschungs- und Entwicklungsfeld dar. Bis heute sind viele Fragen in Bezug auf die rechengestützte Generalisierung offen: Wieweit kann sich die rechengestützte Generalisierung der freien manuellen Generalisierung qualitativ nähern? Ist eine vollautomatische Generalisierung aufgrund der Komplexität verschiedenster Geodaten überhaupt möglich?

1.2 Ziele und Abgrenzung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit liefert einen Lösungsansatz für die automatische Generalisierung der Daten der Übersichtskarte 1:25.000 des Städtischen Vermessungsamtes Dresdens und des ATKIS Basis-DLMs. Dabei beschränken sich die Folgemaßstäbe auf 1:50.000 und 1:90.000. Im Blickpunkt der Arbeit stehen die Analyse vorhandener Generalisierungsfunktionen und die Umsetzung einer Applikation zur Modellgeneralisierung für das Städtische Vermessungsamt Dresden. Auf eine automatische Kartengenerierung wurde verzichtet.

Die Diplomarbeit gliedert sich wie folgt:

Elementare Generalisierungsvorgänge, wie Flächenaggregation, Verdrängung, Geometrietypwechsel oder Linienvereinfachung/-glättung, werden in Kapitel 2 zusammengestellt und beschrieben.

Kapitel 3 stellt die unterschiedlichen Datenmodelle der Digitalen Übersichtskarte Dresdens gegenüber und zeigt die Unterschiede zwischen den Geodaten der Stadt Dresden und dem ATKIS Basis-DLM auf.

Die konkrete Umsetzung der Modellgeneralisierung wird in den Kapiteln 4 und 5 beschrieben. Kapitel 4 zeigt dabei die Generalisierungsregeln und Parameter auf, während die programmtechnische Umsetzung in Kapitel 5 dargestellt wird.

Letztlich werden die Ergebnisse der Generalisierung in Kapitel 6 evaluiert und in Kapitel 7 Fehler analysiert und dokumentiert. Eine mögliche Weiterentwicklung der Applikation wird im 8. Kapitel dargelegt.

Kapitel 2 | Grundlagen der Generalisierung

2.1 Generalisierung in der Kartographie

Die kartographische Generalisierung als eines der Schwerpunktthemen der Kartographie bietet reichlich Literatur. Einher mit der Menge an Literatur gehen verschiedenste Definitionen über die kartographische Generalisierung. Es ist deshalb unerlässlich einige dieser Definitionen einander gegenüberzustellen, um wichtige Aspekte der Generalisierung hervorzuheben.

Die ICA (1973) definiert die kartographische Generalisierung als: *„Auswählen, Vereinfachen, Zusammenfassen und begriffliches Umsetzen des Karteninhalts, dem Maßstab und/oder dem Zweck der neu zu schaffenden Karte entsprechend.“*

BOLLMANN (2002b) spezifiziert diese Definition: *„Die kartographische Generalisierung [...] umfasst Theorien, Methoden und Verfahren zur Reduzierung und Verallgemeinerung von kartographischen Informationen. Im Prozess der Generalisierung werden dabei aus der Informationsmenge [...] bestimmte Teilmengen ausgewählt, zur Bildung von übergeordneten Einheiten zusammengefasst oder durch allgemeinere bzw. abstraktere Informationen ersetzt. Die Generalisierung verfolgt dabei das Ziel, die transformierten Informationen maßstabsbedingt einer größenreduzierten Kartenfläche anzupassen oder sie vereinfacht bzw. fragestellungsorientiert in digitaler oder graphischer Form [...] zur Verfügung zu stellen.“*

Eine andere Definition bietet HAKE (1975): *„Generalisierung ist ein Vorgang der Datenverarbeitung, der unter dem Zwang steht, einen Vorrat raumbezogener Informationen so zu reduzieren und neu zu ordnen, dass die wesentlichen Aussagen erhalten bleiben und visuell wahrnehmbar sind. Dieser Vorgang lässt sich auch als Umformungsprozess beschreiben, der völlig einseitig verläuft und nicht umkehrbar ist. Die Ergebnisse der Generalisierung sollten zwar in jedem Falle eine möglichst zutreffende Vorstellung oder Erkenntnis der wichtigsten Raumbeziehungen vermitteln, umgekehrt lassen sich jedoch mit kleiner wer-*

dendem Maßstab immer weniger eindeutige Rückschlüsse auf Einzelheiten der Wirklichkeit ziehen.“

Aus den vorgestellten Definitionen ist ersichtlich, dass die Generalisierung ein unerlässlicher Vorgang bei der Ableitung von Karten in Folgemaßstäben ist, wobei der Inhalt dem Maßstab und dem Zweck der Karte angepasst werden muss. Die Notwendigkeit der Generalisierung beruht auf der Einhaltung graphischer Mindestdimensionen. Eine reine Maßstabsverkleinerung führt zwangsläufig zur Unterschreitung der graphischen Mindestgröße eines Objektes und zum Verlust der exakten geometrischen Wiedergabe (Vergleich HAKE & GRÜNREICH (1994, S. 110) und BOLLMANN (2002b)). Eine Reduzierung der Informationsdichte ist unabdingbar, um den Karteninhalt bestmöglich an die geringere Kartenfläche des neuen Maßstabes anzupassen und die Lesbarkeit zu wahren. Dies hat jedoch zur Folge, dass sowohl das Prinzip der Vollständigkeit als auch das Prinzip der geometrischen Genauigkeit unterlaufen werden. Generalisierung bedeutet deshalb stets, einen angemessenen Ausgleich zwischen Lesbarkeit, Vollständigkeit und geometrischer Genauigkeit herzustellen.

Viele Autoren führen eine Reihe weiterer Gründe für eine notwendige Generalisierung an. So benennen McMASTER & SHEA (1992) drei „philosophische Ziele“, warum das Generalisieren erforderlich ist. Unter den theoretischen Elementen geben sie die Reduktion der Komplexität, den Erhalt der räumlichen und semantischen Genauigkeit, die Wahrung der ästhetischen Qualität und logischen Hierarchie als auch das konsequente Anwenden von Regeln an. Der Zweck der Karte sowie der Kartennutzer, der geeignete Maßstab und der Erhalt der Klarheit werden unter den anwendungsspezifischen Elementen zusammengefasst. Letztlich sind rechnerspezifische Elemente wie kosteneffektive Algorithmen, maximale Datenreduzierung und minimaler Speicherplatz weitere Gründe für eine Generalisierung. KEATES (1989, S. 261) hingegen gibt vier Gründe an: maßstabsbedingte und graphische Anforderungen, Charakteristik und Wichtigkeit. LI (1996) widerspricht diesen Meinungen energisch und verweist auf Ergebnisse der Schweizer Gesellschaft für Kartographie, nach denen eine Maßstabsverkleinerung die einzige direkte Motivation für das Generalisieren sei.

Aufgrund der komplexen Anforderungen nimmt die Generalisierung eine besondere Stellung in der Kartographie ein. Bedurfte es früher bei der Herstellung analoger Karten der

Fähigkeit und Fertigkeit des Kartenbearbeiters, um die Generalisierung bestmöglich durchzuführen, sind heute regelbasierte Vorgaben für eine automationsgestützte Generalisierung im digitalen Umfeld notwendig. Darum basierte die Forschung auf dem Gebiet der digitalen Generalisierung in der Vergangenheit auf zwei Hauptthemen: der Entwicklung von Algorithmen sowie dem Erlangen und Darlegen kartographischen Wissens über die Generalisierung. Die gegenwärtige Entwicklung setzt auf diesen Erkenntnissen auf. Das derzeitige Ziel liegt in der Verbesserung und Optimierung der Algorithmen, insbesondere im Hinblick auf die stetig steigende Komplexität der Generalisierungsvorgänge (EDWARDES ET AL. (2003)). Zudem stellen neue Medien, allen voran das Internet sowie heutige mobile Anwendungen, und die damit verbundene interaktive Kartennutzung neue Anforderungen an den Generalisierungsprozess. Die Generalisierungsvorgänge müssen in diesem Fall in Echtzeit ablaufen, um eine On-the-fly-Generalisierung zu ermöglichen (WEIBEL & BURGHARDT (2008)).

2.2 Kartographische Modelltheorie und Modellbildung im digitalen Umfeld

Um die digitale Generalisierung einordnen zu können, ist ein Blick auf die kartographische Modelltheorie und -bildung in der digitalen Kartographie unumgänglich.

Karten lassen sich als „*graphisches Modell der Realität*“ auffassen. Modelle ersetzen Originale und gleichen jenen in Struktur, Funktion oder Verhalten. Sie tragen zur Erkenntnisgewinnung über das Original bei, insbesondere dann, wenn diese am Modell schneller, effizienter und weitgehender wäre als am Original selbst. Diese Bedingungen treffen ohne Zweifel auf Karten zu. (Vergleich BOLLMANN (2002a))

Die Modelltheorie bildet die konzeptionelle Grundlage für die digitale Kartographie. Dabei werden Original, Primär-, Sekundär- und Tertiärmodelle voneinander unterschieden. Verschiedene Primärmodelle ergeben sich aus den differenzierten fachlichen Sichtweisen auf die Realwelt. Das Primärmodell beinhaltet Landschaftsobjekte eines begrenzten Bereiches. Die Objekte werden mit ihren geometrischen, semantischen und zeitlichen Informationen ohne Berücksichtigung der graphischen Darstellung im Modell repräsentiert. Diese bilden mit ihren Beziehungen zueinander ein digitales Objektmodell (DOM). Die Abbildung 2.1 zeigt den Aufbau raumbezogener Daten eines DOM in ihren drei Ebenen. Auf

der untersten Ebene sind die geometrischen Eigenschaften des Objektes durch Punkt-, Linien- und Flächenobjekte festgehalten. Diese bilden auf der topologischen Ebene Knoten, Kanten und Maschen, welche die gegenseitigen Beziehungen der Geoobjekte festhalten. Durch Attributierung erhalten die Objekte auf höchster Ebene eine semantisch thematische Bedeutung.

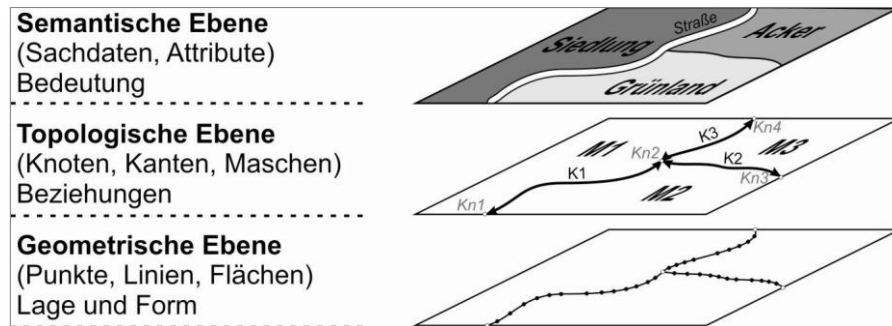


Abbildung 2.1 Aufbau raumbezogener Daten

Das digitale Objektmodell bildet die Grundlage für den Kartenherstellungsprozess sowie für Modellrechnungen und -analysen. Digitale Objektmodelle werden durch den Kartengestaltungsprozess und die damit verbundene Informationskodierung mittels Signaturen in ein Sekundärmodell, das digitale kartographische Modell (DKM), umgewandelt. Die digitalen kartographischen Modelle sind im Gegensatz zu den digitalen Objektmodellen maßstabsgebunden und entsprechend ihrer Darstellung kartographisch aufbereitet. Das Schema der kartographischen Modellbildung wird in Abbildung 2.2 dargestellt.

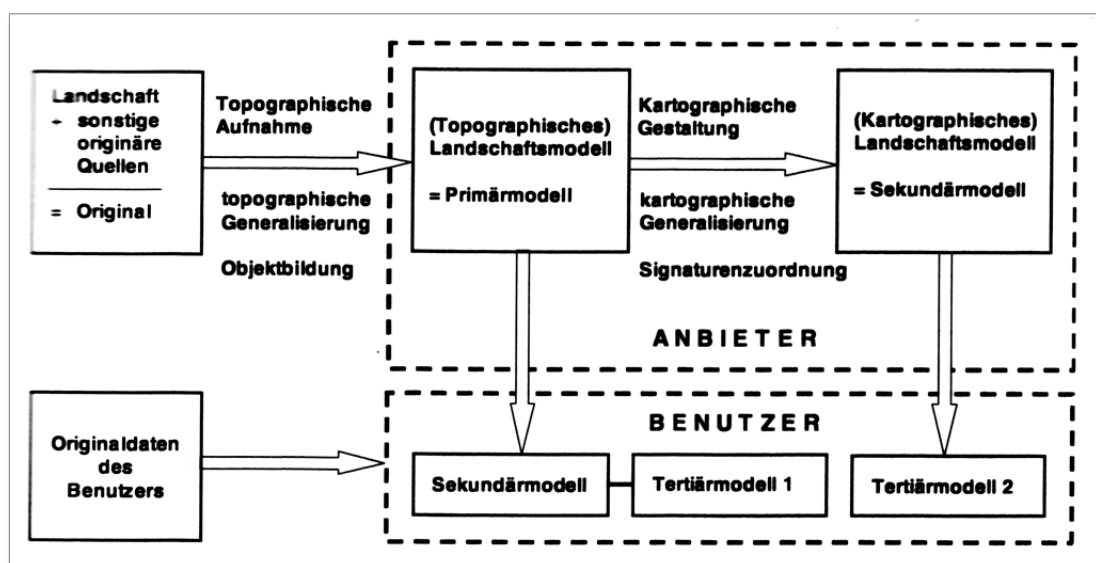


Abbildung 2.2 Kartographische Modelltheorie (HARBECK (1987))

Es genügt jedoch nicht, nur ein Primärmodell mit hohem Strukturierungsgrad als Grundlage für Analysen und für den Kartenherstellungsprozess zu halten. SCHÜRER (2001) führt dafür vier Gründe an:

1. Ein allumfassendes für verschiedene Fachdisziplinen verwendetes Primärmodell führt zu einer enormen Datenmenge.
2. Die Ableitung eines DKMs kleineren Maßstabs setzt enorme Generalisierungsschritte voraus.
3. Eine Überarbeitung und geometrische Anpassung der Fachdaten, die bislang auf topographischen Karten aufsetzten, an das Primärmodell durch den Nutzer ist unumgänglich.
4. Für Analysen und Modellrechnungen sind je nach Anwendungszweck verschiedene Modelle unterschiedlicher Auflösung notwendig.

Dies begründet, warum mehrere DOM, insbesondere digitale Landschaftsmodelle (DLM), und DKM mit unterschiedlichen Strukturierungsgraden parallel geführt werden.

2.3 Modell- und kartographische Generalisierung

Eine Überführung der Daten eines Modells höheren Strukturierungsgrades in eines mit geringerer Auflösung setzt eine modellorientierte Generalisierung, auch Modellgeneralisierung genannt, voraus. Eine Generalisierung vom Primärmodell zum digitalen kartographischen Modell wird hingegen als kartographisches Generalisieren bezeichnet. Die Abbildung 2.3 zeigt das Gesamtsystem der rechengestützten Generalisierung.

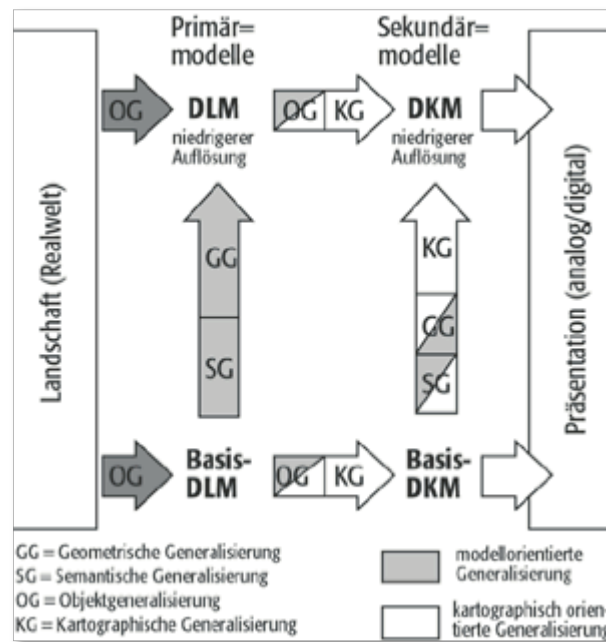


Abbildung 2.3 *Modellgeneralisierung im Gesamtsystem der rechnergestützten Generalisierung topographischer Landschaftsinformationen nach SCHOPPMAYER.
Quelle: KOCH (2002b)*

2.4.1 Brassel-Weibel-Modell

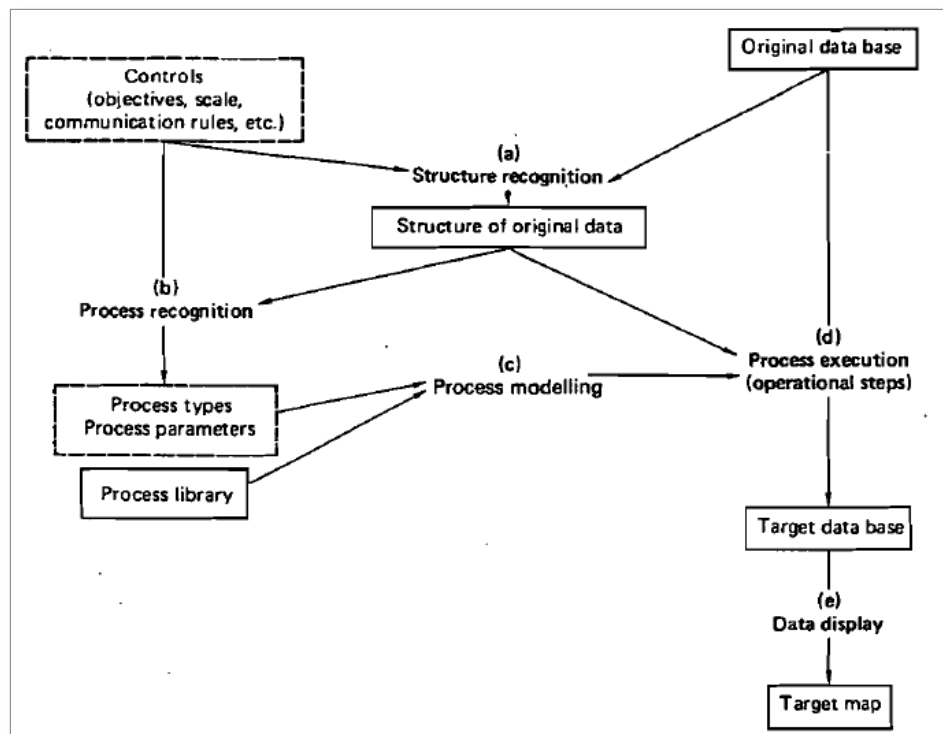


Abbildung 2.4 Konzeptioneller Rahmen der Generalisierung von BRASSEL & WEIBEL (1988)

Die Abbildung 2.4 zeigt das Brassel-Weibel-Modell. Basierend auf einer Strukturerkennung (a) der Originaldaten werden Generalisierungsprozesse (b) abgeleitet. Entscheidend für die Strukturerkennung sind die Generalisierungsziele und der Zielmaßstab. Nach der Erkennung werden die Generalisierungsprozesse als Abfolge einzelner Operatoren zusammengestellt und Parameter definiert, was zur Prozessbildung (c) führt. Dazu werden aus Prozessbibliotheken Regeln und Verfahren zu einem Prozess zusammengeführt. Im Anschluss wird dieser Prozess an den Originaldaten ausgeführt (d). Die Ergebnisse werden in der Zieldatenbank gespeichert und anschließend graphisch dargestellt (e). (Vergleich BRASSEL & WEIBEL (1988))

2.4.2 McMaster-Shea-Modell

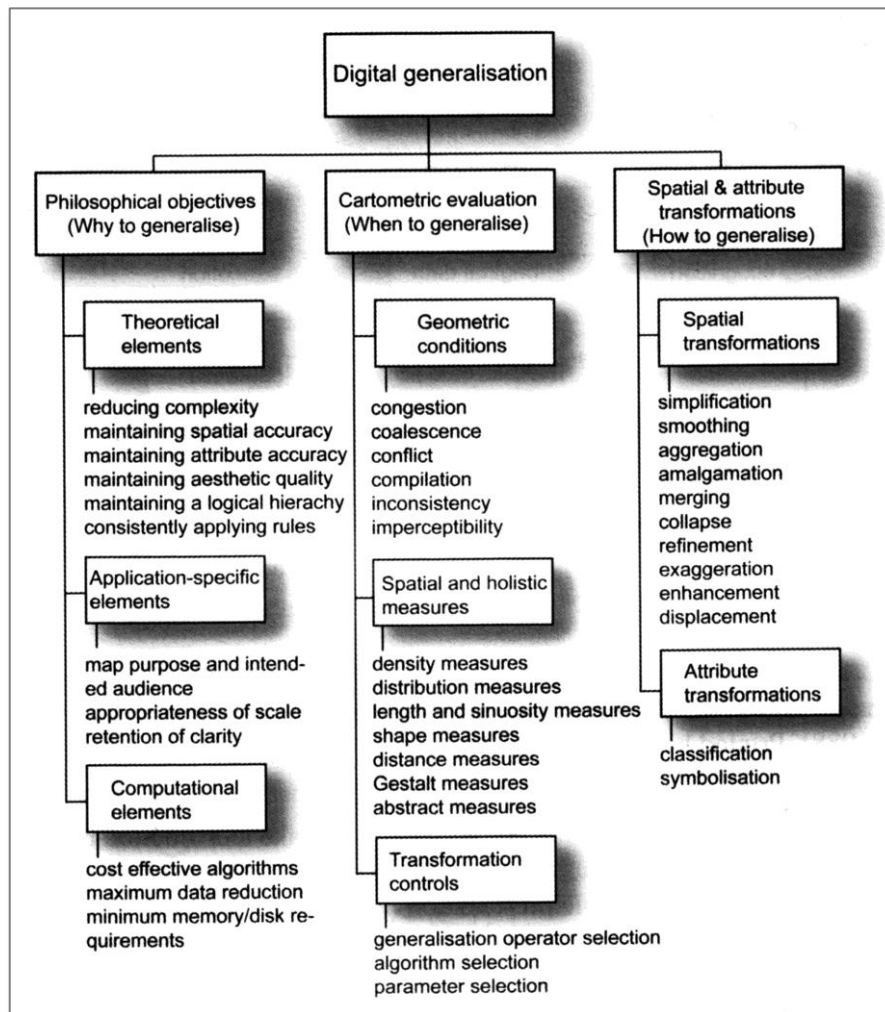


Abbildung 2.5 Konzeptioneller Rahmen der digitalen Generalisierung von McMASTER & SHEA (1992)

Die Abbildung 2.5 zeigt das McMaster-Shea-Modell. Das Modell ist dreigliedrig in philosophische Ziele, kartometrische Evaluation sowie raumbezogene und semantische Generalisierungsoperatoren gefasst. Unter den philosophischen Zielen, welche die Notwendigkeit der Generalisierung definieren, werden drei Gründe genannt. Die theoretischen Elemente sind wie in Kapitel 2.1 beschrieben allgemeine Generalisierungsprinzipien. Die anwendungsspezifischen Elemente beinhalten Kartennutzen und Zielmaßstab und die rechnerbezogenen Elemente Kosteneffizienz und Speicherkapazitätsprobleme.

Der Bereich der kartometrischen Evaluation liefert Angaben darüber, wann zu generalisieren ist. Dabei werden geometrische Bedingungen, raumbezogene und holistische Mes-

sungen sowie die Transformationssteuerung betrachtet. Hier überschneidet sich das Modell mit dem Brassel-Weibel-Modell in Bezug auf Strukturerkennung und Prozessbildung.

Der letzte Bereich umfasst die raumbezogenen und semantischen Generalisierungsoperatoren, wie generalisiert werden soll (McMASTER & SHEA (1992)). Diese werden im nachfolgenden Kapitel erläutert.

2.5 Elementare Generalisierungsvorgänge

Die elementaren Generalisierungsvorgänge, oft auch als Operatoren bezeichnet, wurden vielfach in verschiedenen Modellen der Generalisierung definiert. Eine einheitliche Einteilung und Bezeichnung fehlt jedoch. Oft werden Operatoren unterschiedlich definiert und auch deren Anzahl ist vom jeweiligen Modell und Autor abhängig.

So unterteilen ROBINSON, SALE & MORRISON (1978) den Generalisierungsprozess in zwei wesentliche Vorgänge: Selektion und Generalisierung, welche Vereinfachung, Klassifizierung und Symbolisierung beinhaltet.

HAKE & GRÜNREICH (1994) entwerfen eine dreigliedrige Unterteilung objektbezogener elementarer Vorgänge der Generalisierung, bestehend aus der geometrischen (raumbezogenen), semantischen (sachbezogenen) oder temporalen (zeitbezogenen) Generalisierung. Dabei können elementare Generalisierungsvorgänge, wie Vereinfachen, Glätten, Vergrößern (insbesondere Verbreitern), Verdrängen, Zusammenfassen (Aggregieren), Auswählen (Selektieren), Klassifizieren und Bewerten, in unterschiedlichem Ausmaß auftreten. Die Abbildung 2.6 stellt die elementaren Vorgänge nach HAKE & GRÜNREICH (1994) gegenüber.





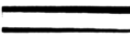







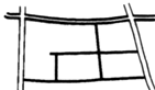








Elementarer Vorgang	Darstellung in der		
	Ausgangskarte	neuen Karte	
	Maßstab der Ausgangskarte		neuen Karte
Rein geometrische Generalisierung			
1 Vereinfachen			
2 Vergrößern (vor allem Verbreitern)			
3 Verdrängen (Folge von 2)			
Geometrisch-begriffliche Generalisierung			
4 Zusammen- fassen			
5 Aus wählen (bzw. Fortlassen)			
6 Klassifizieren bzw. Typisieren (einschließlich Umwandeln in Signaturen)			
7 Bewerten (z.B. Betonen)			

Abbildung 2.6 Elementare Vorgänge der kartographischen Generalisierung (HAKE & GRÜNREICH (1994))

Eine andere Unterteilung liefern SHEA & MCMASTER (1989) und MCMASTER & SHEA (1992) mit ihrem Modell der digitalen Generalisierung. Sie unterteilen in raumbezogene (Spatial transformation) und semantische Generalisierungsvorgänge (Attribute transformation) mit insgesamt zwölf Unterkategorien der Generalisierungsoperatoren. Zu den semantischen Operatoren zählen Klassifikation (Classification) und Symbolisierung/Typifizierung (Symbolisation/Typification); zu den raumbezogenen Operatoren hingegen gehören Vereinfachung (Simplification), Glättung (Smoothing), Aggregation (Aggregation), Fusion (Amalgamation), Zusammenfassen (Merging), Geometriotypwechsel (Collapse), Verfeinerung (Refinement), Überzeichnung (Exaggeration), Betonung (Enhancement) und Ver-

drängung (Displacement). Die nachfolgende Abbildung 2.7 stellt diese Operatoren gegenüber.

Spatial and Attribute Transformations (Generalization Operators)	Representation in the Original Map	Representation in the Generalized Map	
	At Scale of the Original Map	At 50% Scale	
Simplification			
Smoothing			
Aggregation			
Amalgamation			
Merge			
Collapse			
Refinement			
Typification			
Exaggeration			
Enhancement			
Displacement			
Classification	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20	1-5, 6-10, 11-15, 16-20	Not Applicable

Abbildung 2.7 Elementare Generalisierungsoperatoren
(SHEA & McMASTER (1989, S. 64))

Einen Überblick über die verschiedenen Operatoren in der Literatur liefern BADER ET AL. (1999). Im Rahmen des AGENT-Projektes wurden diese klassifiziert und definiert. Die daraus hervorgegangene Typologie ist in Abbildung 2.8 dargestellt.

		Traditional Operators		Digital Operators		
Attribute transformation Semantic modification		Classification	Thematic Selection	Select a subset of feature classes that are relevant to an application. e.g.: We do not need trails for a specific map.		
			Thematic Aggregation	Changing thematic resolution (moves along a classification hierarchy) e.g.: Road A1, Road A2 => Road A		
Spatial transformation	Individual objects (independent generalization)	Simplification Elimination of detail	Weeding	A representation of the original line using a subset of its initial coordinates, retaining those points which are considered to be most representative of the line.		
			Unrestricted Simplification	A simplified representation of the original line is computed. Instead of using a subset of initial coordinates, the new line may choose any point of the space and may even consist of more points.		
		Collapse	The decomposition of features of n dimensions in features of n-1 or even n-2 dimensions.			
		Enhancement The shape and size of a feature may need to be enhanced to meet the legibility requirements of a map.	Enhancement with regard to geometric constraints	Enlargement	Constant enlargement in all directions (scaling).	
				Exaggeration (= Caricature)	Exaggerate important parts = Enlargement with change of shape.	
			Enhancement with regard to semantic constraints	Smoothing	Change the geometry of an object to improve the aesthetic quality.	
				Fractalization		
	Rectification/ Squaring	Rectify the geometry of objects which are expected to have a rectangular shape.				
		Individual objects or Set of objects	Selection / Elimination	Selection	Select the most important objects from a cluster/network to represent the original feature.	
	Elimination			Eliminate unimportant objects from the map.		
	Displacement		Move objects to solve conflicts between objects that are too close or to keep important neighbourhood relations e.g.: If a bend is moved through filtering, a road next to the building has to be moved also.			
	Set of objects (contextual generalization)	Aggregation Joining features	Join features to 1 object	Amalgamation	Fusion	Aggregation of two connected objects of the same nature.
				Merge	Join disjoint objects (keep border between objects)	
			Combine	Combine a set of objects to one object of higher dimensionality.		
Join feature to several objects	Typification	An initial set of objects is transformed into a new (generalized) group. It is not clear after the transformation which original object(s) created a new one; the new objects are merely placeholders. The initial group might be built of disjoint objects (such as buildings) or be created through segmentation of one single object (such as road segments). The former type is called structuration , the latter one schematisation .				

Abbildung 2.8 Typologie der Generalisierungsoperatoren (Quelle: BADER (2001))

Um eine Definition und die Funktionsweise ausgewählter Generalisierungsvorgänge für diese Arbeit besser verstehen zu können, folgt in den nächsten Unterkapiteln eine kurze Erläuterung ausgewählter Operatoren.

2.5.1 Klassifikation

Die Klassifikation ist ein rein semantischer Generalisierungsvorgang. Objekte gleicher oder ähnlicher attributiver Bedeutung werden zu abstrakteren Gruppen zusammengefasst und damit neue höhere Klassen gebildet. Die Klassifikation verfolgt das Ziel, die Objektdichte zu reduzieren und größere zusammenhängende Flächen zu erzeugen. In der Regel bezieht sich eine Klassifikation auf qualitative Eigenschaften, folglich auf nominalskalierte Daten. Sie kann aber auch im Sinne einer quantitativen Generalisierung gesehen werden. Dabei wird die Klassifikation sowohl auf intervall- und ratioskalierte als auch auf ordinalskalierte Daten angewendet und quantitative Wertgruppen neugebildet. Hierbei kommen verschiedene mathematische und statistische Verfahren zum Einsatz. Die Klassen sind dabei so zu ordnen, dass die wesentlichen Eigenschaften des Sachverhaltes und die damit verbundene Charakteristik der Datenverteilung nach wie vor erhalten bleiben. (Vergleich KOCH (2002a) und REGNAULD & McMASTER (2007))

2.5.2 Flächenaggregation

Die Flächenaggregation muss differenziert betrachtet werden. Es gibt verschiedene Operatoren, die zu einer Flächenverschmelzung führen, obgleich eine genaue Abgrenzung der Operatoren zueinander schwierig erscheint und sie in der Literatur auch nicht einheitlich bezeichnet werden.

Die Aggregation im engeren Sinne lässt sich als geometrischer Vorgang auffassen. Sie führt zur Reduktion der Komplexität ähnlicher Objekte, indem die Objekte durch ein Objekt höherer Dimension ersetzt werden (ROTH, STRYKER & BREWER (2008)). In der Regel gilt dies für den Übergang von Punkt- zu Flächensignaturen.

Ähnlich ist das Zusammenfassen oder Merging nach ROTH, STRYKER & BREWER (2008) definiert. Es ist die Reduktion der Komplexität ähnlicher Objekte unter Beibehaltung der Ausgangsdimension. Ein typisches Beispiel hierfür ist das Zusammenfassen einzelner Gebäude zu Gebäudeblöcken.

Der Gebietszuwachs ordnet sich bei den geometrischen oder semantisch-geometrischen Operatoren ein. HAUNERT (2008) bezeichnet diesen Generalisierungsvorgang als Region-growing. Hierbei wird eine bestimmte Fläche – im Allgemeinen mit geringem Flächeninhalt – einer benachbarten Fläche zugesprochen und mit dieser vereinigt. Eine reine Selektion und Eliminierung der Fläche würde zu Lücken in einem topologisch geschlossenen Datensatz führen. Daher ergibt sich die Notwendigkeit der Vereinigung mit einer benachbarten Fläche. Mit welcher Fläche eine derartige Verschmelzung stattfinden kann, lässt sich geometrisch oder semantisch lösen. CHENG & LI (2006) geben dafür zwei Möglichkeiten an: Aus geometrischer Sicht ist der geeignete Nachbar über die längste gemeinsame Grenze bestimmbar. Semantisch lässt sich dies durch Ermitteln der gemeinsamen Klassenzugehörigkeit über Fuzzylogik lösen. PODRENEK (2002) bietet als Lösungsansatz eine Prioritätenliste, in der eine Reihenfolge aufgestellt ist, welche Klasse am ehesten in welche andere Klasse aufgehen soll. Einen ähnlichen Ansatz bieten YOALIN, MOLENAAR & KRAAK (2002). Sie stellen eine Ähnlichkeitstabelle der einzelnen Klassen zueinander auf und ermitteln so den geeigneten Nachbarn.

2.5.3 Flächenexpansion und -reduktion durch morphologische Operatoren

Viele Generalisierungsvorgänge, wie Flächenexpansion, -reduktion oder -fusion sowie Geometrietypwechsel und Verdrängung, sind schwierig auf Vektordaten anwendbar und rechenintensiv. Diese Generalisierungsvorgänge lassen sich auf Rasterbasis einfacher umsetzen. (Vergleich SU & LI (1995))

SU & LI (1995), LI (1996) und SU, LI, LODWICK & MÜLLER (1997) bieten Lösungen an, wie auf Basis mathematisch-morphologischer Operatoren eine Generalisierung von Rasterdaten möglich ist.

Die mathematische Morphologie wurde in den 1960er Jahren von den französischen Geostatistikern G. MATHERON und J. SERRA entwickelt und fand hauptsächlich Anwendung im Bereich der Fernerkundung und Bildverarbeitung. Die beiden Hauptoperatoren sind Dilation und Erosion. Diese definieren sich mathematisch wie folgt:

$$\text{Dilatation: } A \oplus B = \{a + b : a \in A, b \in B\} = \bigcup_{b \in B} A_b \quad [1]$$

$$\text{Erosion: } A \ominus B = \{a : a + b \in A, b \in B\} = \bigcap_{b \in B} A_b \quad [2]$$

Dabei ist A das Ausgangsbild und B das strukturierende Element, ähnlich einem Filter bei anderen Bildverarbeitungsprozessen. Das strukturierende Element kann dabei jegliche Form annehmen. Die Funktionsweise der Dilatation und Erosion ist am Beispiel eines Binärbildes in Abbildung 2.9 dargestellt. Bei der Dilatation wächst das Ausgangsobjekt entsprechend dem strukturierenden Element, bei der Erosion hingegen wird es verkleinert.

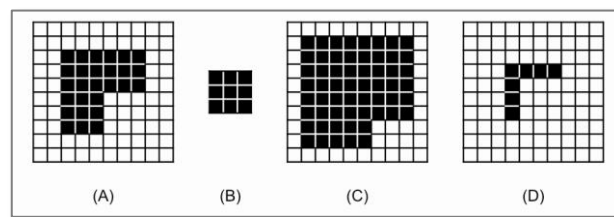


Abbildung 2.9 *Beispiel für Dilatation und Erosion*
Ausgangsbild (A), strukturierendes Element (B), Bild nach Dilatation (C), Bild nach Erosion (D)

Eine Kombination aus Erosion und Dilatation führt zu zwei weiteren wichtigen morphologischen Operatoren, dem Öffnen (opening) und dem Schließen (closing).

$$\text{Öffnen: } A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad [3]$$

$$\text{Schließen: } A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B \quad [4]$$

Führt man eine Erosion und im Anschluss eine Dilatation durch, wird dies als Öffnen bezeichnet. Objektbereiche, welche die Breite des strukturierenden Elementes unterlaufen, werden dabei im ersten Schritt eliminiert. Bei der anschließenden Dilatation wird das Ausgangsobjekt wiederhergestellt, jedoch ohne die zuvor gelöschten Bereiche. Das Ausgangsobjekt zerfällt gegebenenfalls in mehrere Objekte. Beim Schließen findet der umgekehrte Prozess statt. Bereiche, die kleiner als die Breite des strukturierenden Elementes sind, werden dabei geschlossen. Dies gilt auch für mehrere Objekte, die dicht nebeneinander liegen. Diese können so zu einer Fläche aggregiert werden. Die Abbildungen 2.10 und 2.11 zeigen Beispiele für das Öffnen bzw. Schließen.

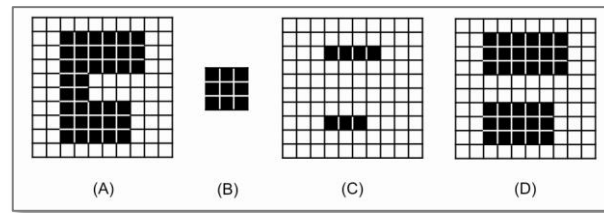


Abbildung 2.10 Beispiel zum Öffnen
Ausgangsbild (A), strukturierendes Element (B),
Bild nach Erosion (C), Bild nach anschließender
Dilatation (D)

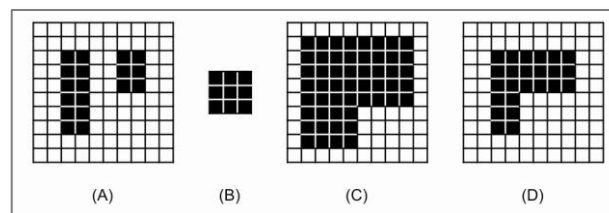


Abbildung 2.11 Beispiel zum Schließen
Ausgangsbild (A), strukturierendes Element (B),
Bild nach Dilatation (C), Bild nach anschließender
Erosion (D)

Diese morphologischen Operatoren lassen sich auch auf Vektordaten übertragen. Durch eine Pufferung der Vektorobjekte nach außen und eine anschließende Rückpufferung nach innen lassen sich mehrere Objekte zu einer größeren Fläche vereinen. Voraussetzung ist aber auch hier, dass der Abstand der Objekte kleiner gleich der Pufferweite sein muss. Eine erst nach innen und dann nach außen gerichtete Pufferung führt dazu, dass Objektbereiche, die kleiner als die Pufferbreite sind, entfernt werden. Das Ausgangsobjekt kann dadurch in mehrere Teile zerlegt werden, die eine bestimmte Mindestbreite erfüllen.

2.5.4 Verdrängung

Die Verdrängung ist vermutlich der komplizierteste und komplexeste Generalisierungsvorgang. Das Verdrängen ergibt sich oftmals als Folge des Betonens und der Überzeichnung. Liegen zwei Objekte zu dicht nebeneinander oder überlagern sich, besteht die Notwendigkeit des Verdrängens. Ein Verschieben einzelner Objekte führt oft nicht zum ge-

wünschten Erfolg, da gegebenenfalls der Mindestabstand zu anderen Objekten nicht mehr gewahrt bleibt. Deshalb erzielt der Verdrängungsvorgang durch globale kontinuierliche Optimierung und Ausgleichung meist bessere Ergebnisse als durch lokale Optimierungsansätze. Dabei sollten die verdrängten Objekte möglichst wenig formverändert werden, um topologische Strukturen zu erhalten. In jedem Fall kann die geometrische Genauigkeit eines verdrängten Objektes nicht mehr gewahrt bleiben. Eine Hierarchie, welches Objekt verdrängt wird und welches an der richtigen geometrischen Position erhalten bleibt, ist daher unerlässlich. Im Folgenden werden zwei Lösungsansätze zur Verdrängung genauer betrachtet.

2.5.4.1 Nickerson-Algorithmus

NICKERSON (1988) beschrieb einen Verdrängungsalgorithmus, der über Jahre in der digitalen Generalisierung einer der dominierenden Verdrängungsalgorithmen war.

Alle vorhandenen Linienfeatures werden sequentiell einer digitalen Karte zugefügt, wobei neu zugefügte Linienobjekte von den bereits der digitalen Karte zugeführten Linien verdrängt werden. Dabei werden von jedem Linienobjekt Start-, End- und Zwischenknotenpunkte mit Original- und Verdrängungskordinaten sowie ihrer jeweiligen Priorität gespeichert. Zusätzlich besitzt jedes Linienobjekt eine Original- und eine adoptierte Priorität. Die Knotenpriorität richtet sich nach der Linie mit höchster Linienpriorität, die mit diesem Knoten verbunden ist. Des Weiteren hat jeder geometrische Punkt, der die Linie definiert, seine eigene Priorität. Die Gesamtheit der Punktprioritäten bestimmt, wie stark die Verdrängung der Linie ist. So ergibt sich ein Linienverdrängungsvektor, der angibt, wie und wohin eine Linie verdrängt wird. Beim Einfügen einer neuen Linie werden der Start- und der Endknoten an bereits vorhandene Verdrängungen anderer Linien, mit gleichen Knotenpunkten, angepasst. Diese beiden Verdrängungen haben Auswirkungen auf die Verdrängung aller Punkte des Linienobjektes. Die Verdrängung der einzelnen Punkte (u_i) ergibt sich aus der Verdrängung des Start- (u_s) und Endknotens (u_e) sowie der Entfernung (s) des jeweiligen Punktes zu beiden Knoten.

$$u_i(s_{s,i}, s_{e,i}) = c_{s,i} b_{s,i} u_s + c_{e,i} b_{e,i} u_e \quad [5]$$

mit $c_{s,i} = \left(1 - \frac{s_{s,i}}{s_{s,e}}\right)$, $c_{e,i} = \left(1 - \frac{s_{e,i}}{s_{s,e}}\right)$

$$b_{s,i} = \begin{cases} \left(1 - \frac{s_{s,i}}{k|u_s|}\right) & \text{für } s_{s,i} \leq k|u_s| \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$$

$$b_{e,i} = \begin{cases} \left(1 - \frac{s_{e,i}}{k|u_e|}\right) & \text{für } s_{e,i} \leq k|u_e| \\ 0 & \text{ansonsten} \end{cases}$$

Nach der Endknotenverdrängung wird geprüft, ob die Linie sich mit anderen Linien überlagert. Ist dies der Fall, werden alle überlappenden Linienobjekte ermittelt. Diese werden nach einer bestimmten Rangfolge geordnet, um so die Reihenfolge der weiteren Verdrängung festzulegen. Für die Rangfolge sind die Anzahl der gemeinsamen Knotenpunkte, die etwaige Orientierung der Linien zueinander und die Entfernung der überlagernden Linie vom gemeinsamen Knoten entscheidend. Beginnend mit der ranghöchsten Linie werden die Verdrängungen zwischen der Ausgangslinie und der überlagernden Linie bestimmt. Die Berechnung der Verdrängung wird für beide Linien vorgenommen. Jede Linie ist als Bandstruktur mit einer linken und rechten Begrenzung in einer vorgegebenen Breite aufzufassen. Durch jeden Punkt des einen Linienobjektes lässt sich eine orthogonale Gerade zu seiner Mittellinie konstruieren (s). Diese schneidet je nach Orientierung der beiden Linienobjekte zueinander gegebenenfalls eine der beiden Begrenzungslinien des anderen Linienobjektes. Der Schnittpunkt (R) und der entsprechende Punkt der Mittellinie (P_{io}) bestimmen die Verdrängung der Linie in ebendiesem.

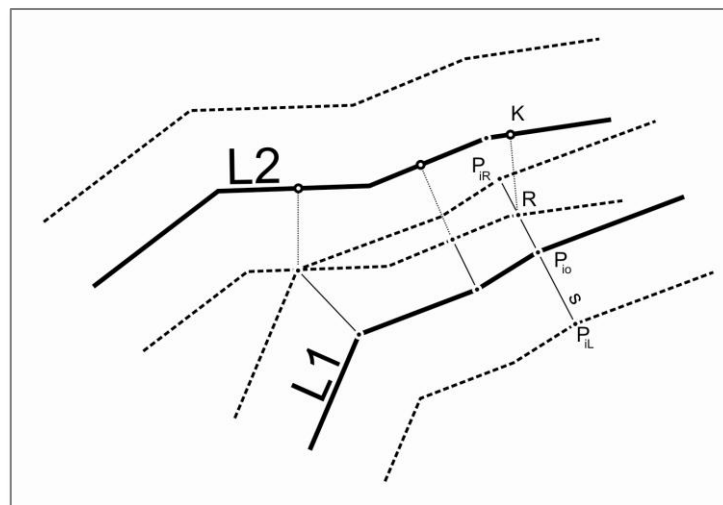


Abbildung 2.12 Prioritätenberechnung zweier sich überlappenden Linien

$$u_i = \begin{cases} r - p_{io} & \text{wenn ein Schnittpunkt existiert} \\ 0 & \text{wenn kein Schnittpunkt existiert} \end{cases} \quad [6]$$

Dabei soll die Form des gesamten Linienobjektes bestmöglich erhalten bleiben. Um dies zu garantieren, sind zwei Modifikationen nötig. Zum einen werden alle Punktverdrängungen in die gleiche Richtung vorgenommen. Ausschlaggebend hierfür ist die Verdrängungsrichtung des Punktes mit der größten Verdrängung. Zum anderen müssen rapide Versetzungssprünge zwischen den einzelnen Punkten verhindert werden. Dies wird dadurch erreicht, dass die Entfernung des jeweiligen Punktes zu allen anderen Punkten der Linie bei der Verdrängung mitberücksichtigt wird. Der höchste Verdrängungswert eines Punktes ist ausschlaggebend für dessen Verdrängung. Die neue Punktpriorität (h_i) ergibt sich aus der Distanz des verdrängten Punktes zum Start- oder Endknoten ($s_{s,i}$, $s_{e,i}$) bzw. aus der Linienpriorität (h_f) unter Berücksichtigung der halben Bandbreite (d) der Linien.

$$h_i = \max \left[\max \left[\left(h_s - \frac{s_{s,i}}{kd} \right), h_f \right], \max \left[\left(h_e - \frac{s_{e,i}}{kd} \right), h_f \right] \right] \quad [7]$$

Alle Punktprioritäten zusammen ergeben einen Linienprioritätsvektor. Die eigentliche Verdrängung ergibt sich aus eben diesem Linienprioritätsvektor. Die Verschiebung der jeweiligen Punkte (r_i) beschreibt sich wie folgt:

$$r_i = \begin{cases} 1 & \text{für } \Delta h_i \leq -1 \\ \left| \frac{(\Delta h_i - 1)}{2} \right| & \text{für } -1 < \Delta h_i < 1 \\ 0 & \text{für } \Delta h_i \geq 1 \end{cases} \quad [8]$$

Δh_i ist die Differenz der Priorität des Punktes i und der Priorität des korrespondierenden Punktes K auf der überlagernden Linie. Die Priorität ergibt sich aus der Interpolation der Prioritäten der benachbarten Stützpunkte der entsprechenden Linie. Ist kein korrespondierender Punkt vorhanden, sprich keine Überlagerung auszumachen, ist die Differenz undefiniert. In diesem Fall wird die Differenz benachbarter Punkte der gleichen Linie übertragen.

Eine besondere Berücksichtigung findet die Verdrängung im Bereich des gemeinsamen Knotenpunktes beider Linien, da der Knotenpunkt topologisch nicht verdrängt werden kann. Das Linienobjekt, das der größten Richtungsänderung im Bereich des Knotens unterliegt, wird verdrängt. Die ersten beiden Stützpunkte der Linie definieren eine Gerade,

welche die Begrenzung des Linienbandes schneidet. Alle Stützpunkte, die hinter dem Schnittpunkt T liegen, werden nach dem oben benannten Prinzip verdrängt. Alle Stützpunkte davor werden auf die Gerade zum Schnittpunkt T projiziert. Eine Berücksichtigung der Verdrängung in Bezug auf andere Punktverdrängungen – wie zuvor beschrieben – kann jedoch nicht berücksichtigt werden.

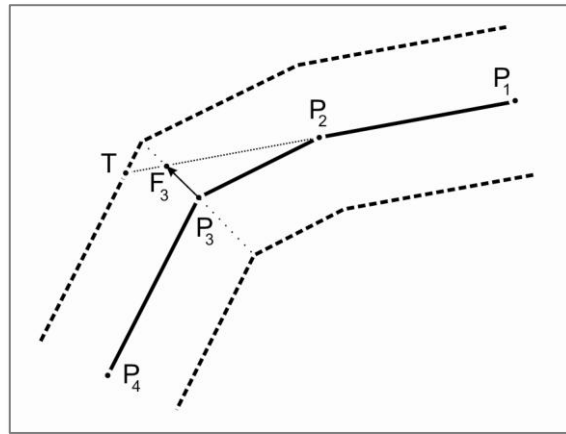


Abbildung 2.13 Verdrängung an einem gemeinsamen Knoten

BADER & BARRAULT (2000) beschreiben, dass der Algorithmus den kartographischen Anforderungen nicht gerecht wird. Zudem ist eine Vielzahl von Parametern zu definieren. Eine gute Parameterwahl ist schwierig und muss für die einzelnen Konfliktsituationen neu bestimmt werden.

2.5.4.2 Linienverdrängung mittels Energieminimierung

HØJHOLT (2000) beschreibt einen Verdrängungsansatz über die Methode der finiten Elemente (FEM). Die FEM dient zur Lösung partieller Differentialgleichungen in komplexen Gebieten. Das betreffende Gebiet wird in eine endliche (finite) Anzahl von Elementen zerlegt. Als Elemente dienen Dreiecke, die sich aus einer Delaunay-Triangulation aller Punkte der zu verdrängenden Objekte ergeben. Benachbarte Dreiecke sind über gemeinsame Knotenpunkte verbunden. Jede Deformation eines Dreiecks spiegelt sich in der Knotenpunktverschiebung in Form der Translation und Rotation wieder. Die Deformation des Dreiecks wird durch seine Positionsänderung (Translation und Rotation) und seine Formänderung (Dehnung in x- und y-Richtung und Winkeländerung)

beschrieben. Dabei besteht eine Korrelation zwischen der Knotenpunktverschiebung und der Deformation des Dreiecks. Auf Basis des Hookschen Gesetzes kann dieser Zusammenhang zwischen der Kraft, die in den Knotenpunkten liegt, und der Deformation des Dreiecks definiert werden. Es beschreibt die elastische Verformung fester Körper unter Krafteinwirkung. Entscheidend für die Berechnung ist das Elastizitätsmodul, eine Materialkonstante, die das Dehnungsverhalten eines Stoffes beschreibt. Diese ergibt sich aus der Starrheit des Dreiecks. Je höher die Starrheit, desto weniger kann das Dreieck verformt werden. Zudem werden weitere Randbedingungen, wie feste Knotenpunkte, Formerhaltung oder Winkeltreue bei der Berechnung berücksichtigt.

BURGHARDT & MEIER (1997) und BURGHARDT (2000) beschreiben einen Linienverdrängungsansatz über Snakes. Der Begriff Snakes kommt aus der Bildverarbeitung und bezeichnet energieminimierende Splines. Die Gesamtenergie (E_{tot}) eines Splines ergibt sich aus der äußeren Energie (E_{ext}) und der inneren Energie (E_{int}) und wird entlang des gesamten Splines mit der Bogenlänge $s \in [0,1]$ integriert.

$$I[x(s), y(s)] = \int_0^1 E_{tot} ds = \int_0^1 (E_{ext} + E_{int}) ds \quad [9]$$

Die äußere Energie beschreibt Konfliktsituationen zwischen den verschiedenen Linienobjekten, folglich dort, wo ein bestimmter Abstand (Hardcore-Abstand) unterlaufen wird. Die äußere Energie ist null, wenn kein Konflikt herrscht. Der Hardcore-Abstand h eines Stützpunktes P_i des Splines ergibt sich aus der halben Signaturbreite zuzüglich einer Toleranz. Unterläuft eine benachbarte Linie diesen Abstand, ergibt sich ein Verdrängungspotential. Dieses wächst mit der Länge des Linienabschnittes innerhalb des Hardcore-Bereiches und der jeweiligen Entfernung der überlagernden Linienabschnitte zum Punkt P_i . Zur Berechnung der äußeren Energie werden alle benachbarten Linien in der Umgebung des Hardcore-Abstandes durch gleitende Mittelbildung interpoliert und die Abstände zwischen den jeweiligen interpolierten Zwischenpunkten und dem Punkt P_i ermittelt. Die Summe aller Abstände a_i im Verhältnis zum Hardcore-Abstand ist ausschlaggebend für die externe Energie.

$$E_{ext}(v_i) \sim \sum_{J \neq I} \sum_j \sum_{t_k} \begin{cases} \left(1 - \frac{a_i(t_k)}{h}\right) & \text{für } a_i < h \\ 0 & \text{für } a_i \geq h \end{cases} \quad [10]$$

Die innere Energie dient dem Erhalt der Liniengestalt. Die Form eines Linienobjektes sollte nach der Generalisierung bestmöglich erhalten bleiben. Die Änderung $w(s)$ gegenüber der Ausgangssituation lässt sich wie folgt beschreiben:

$$w := (x - x^0, y - y^0) \quad [11]$$

$$w_s := (x_s - x_s^0, y_s - y_s^0)$$

$$w_{ss} := (x_{ss} - x_{ss}^0, y_{ss} - y_{ss}^0)$$

Die erste Ableitung beschreibt das Dehnungsverhalten des Splines, während die zweite Ableitung das Biegeverhalten bestimmt. Daraus lässt sich die innere Energie ableiten.

$$E_{int} = \frac{\alpha |w_s|^2 + \beta |w_{ss}|^2}{2} \quad [12]$$

Unter der Bedingung, dass das Energieintegral minimiert wird, sind $x(s)$ und $y(s)$ zu bestimmen. Dabei gilt:

$$\partial I[x + \partial x, y] = 0, \partial I[x, y + \partial y] = 0 \quad [13]$$

Für beide Funktionen lassen sich die Eulerschen Gleichungen herleiten.

$$E_x - \frac{dE_{x_s}}{ds} + \frac{d^2E_{x_{ss}}}{ds^2} = 0, E_y - \frac{dE_{y_s}}{ds} + \frac{d^2E_{y_{ss}}}{ds^2} = 0 \quad [14]$$

Durch Einsetzen der äußeren und inneren Energie gelangt man zu folgenden Gleichungen:

$$\frac{\partial E_{ext}}{\partial x} - \alpha(x_{ss} - x_{ss}^0) + \beta(x_{ssss} - x_{ssss}^0) = 0, \quad [15]$$

$$\frac{\partial E_{ext}}{\partial y} - \alpha(y_{ss} - y_{ss}^0) + \beta(y_{ssss} - y_{ssss}^0) = 0$$

Über finite Differenzen werden die Gleichungen diskretisiert. Im Ergebnis stehen entkoppelte Matrizengleichungen, die mittels Cholesky-Zerlegung iterativ gelöst werden und die Verdrängungsvektoren bestimmen.

$$(A + \lambda I)(x^t - x^0) = \lambda(x^{t-1} - x^0) - E_x^{ext}(x^{t-1}, y^{t-1}), \quad [16]$$

$$(A + \lambda I)(y^t - y^0) = \lambda(y^{t-1} - y^0) - E_y^{ext}(x^{t-1}, y^{t-1})$$

Die Lösung der Matrizengleichungen ist aufwändig und mit einer hohen Anzahl von Iterationen verbunden. Aus diesem Grund beschreiben BURGHARDT & MEIER (1997) und BURGHARDT (2000) ein alternatives Verfahren, basierend auf dem Greedy-Algorithmus. Wurde im oben beschriebenen Variationsverfahren die Energieminimierung des gesamten Splines in einem Iterationsschritt vollzogen, wird im Greedy-Verfahren die Energie jedes Stützpunktes einzeln durch infinitesimale Verschiebungen minimiert. Die innere Energie ergibt sich aus der Summation des Energiebetrages, der aus der Stützstellenverschiebung zwischen zwei Iterationen (Unterschied in der ersten Ableitung), und des Energiebetrages, der sich aus der Krümmungsänderung ebenso zwischen zwei Iterationen (Unterschied in der zweiten Ableitung) hervorgeht. Die Richtung der Punktverschiebung wird durch eine 8-Umgebung mit einer im Vergleich zum Stützstellenabstand kleineren Schrittweite gewährleistet. Ist die Gesamtenergie eines Stützpunktes an einem Punkt der 8-Umgebung geringer, so wird der Stützpunkt durch diesen Punkt ersetzt. Die Iteration endet, wenn die Energie in allen Punkten minimiert ist.

Durch das Variationsverfahren werden Linien in ihrem mittleren Kurvenabschnitt stärker verdrängt. Dies liegt an den festen Randbedingungen im Verfahren. Um die typischen Linienformen zu wahren, werden die Linien stärker verdrängt als ausschließlich im Hardcore-Abstand. Der Greedy-Algorithmus hingegen verdrängt die Punkte konsequent auf den Hardcore-Abstand. Die Form kann deshalb nicht so gut wie möglich bewahrt werden. BURGHARDT (2000) empfiehlt die Anwendung des Greedy-Verfahrens für isolierte Objekte wie beispielsweise Gebäude. Bei Linienverdrängungen ist hingegen das Variationsverfahren vorzuziehen.

BADER & BARRAULT (2000) erweitern das Snake-Konzept. Losgelöst von der externen Energie bleibt der ursprüngliche Zustand eines Splines bei der Minimierung der inneren Energie nur dort erhalten, wo feste Randbedingungen (z. B. der Kopf des Splines) gelten. Alle anderen Punkte abseits des Kopfes richten sich nach der Energieminimierung aus. Durch die Einführung eines Anziehungsparameters ψ wird die größer werdende Verdrängung entlang des Splines gedämpft. Der Anziehungsparameter dient damit dem Erhalt der ursprünglichen Position des Splines. Die Gleichung für die innere Energie [12] ändert sich wie folgt:

$$E_{int} = \frac{\psi|w|^2 + \alpha|w_s|^2 + \beta|w_{ss}|^2}{2} \quad [17]$$

Je größer ψ ist, desto eher wird das Spline angehalten, in seine Ausgangsposition zurückzukehren. Darüber hinaus werden die Formparameter α und β nicht mehr als Konstanten deklariert, sondern variieren.

Ein anderer Ansatz basiert auf den sogenannten Biegebalken (elastic beams) und baut auf dem Snake-Konzept auf. Das Biegebalkenkonzept von BADER & BARRAULT (2001) ermöglicht eine wahre zweidimensionale Modellierung der Verdrängung, während beim Snake-Ansatz eine Verdrängung nur für die x- und y-Richtung getrennt durchgeführt wird. Dabei stellt jedes Liniensegment einen einzelnen Balken dar. Die Knotenpunkte hingegen sind als Scharniere, welche die Balken verbinden, definiert. Die Verdrängung basiert auch hier auf der Energieminimierung. Auftretende Konflikte zwischen den Balken sind als Kräfte in den entsprechenden Balken gespeichert. Ähnlich wie im FEM-Ansatz von HØJHOLT (2000) führen diese Kräfte zur Deformation des unter Spannung stehenden Balkens. Dabei bewirken Kräfte entlang der longitudinalen Achse des Balkens eine Kompression oder Dehnung, während Kräfte in transversale Richtung zum Biegen des Balkens führen. Die Berechnung findet hier ebenso auf Basis der FEM statt. Für die mathematische Beschreibung und Herleitung sei auf BADER & BARRAULT (2001) verwiesen. Gegenüber dem Snake-Konzept können charakteristische Muster der Linienobjekte insbesondere die Gradlinigkeit und Winkelung zu anderen Objekten besser gewahrt bleiben.

2.5.5 Geometrietypwechsel

Der Geometrietypwechsel (Collapse) lässt sich als Dimensionsreduzierung eines Objektes beschreiben. Ein geometrisch höher dimensioniertes Objekt wird in eine geringere Dimension überführt. In den meisten Fällen werden Flächenobjekte auf linien- oder punkthafte Objekte reduziert. Ebenso denkbar ist der Übergang von Linien- zu Punktobjekten. SCHÜRER (2001) beschreibt unter Geometrietypwechsel ebenso den Übergang zu höheren Dimensionen, beispielsweise von Punkt- zu Flächenobjekten. Dies ist jedoch selten der Fall. Deshalb wird im Folgenden nur die Dimensionsreduzierung betrachtet. Ein Grund für eine Dimensionsreduzierung besteht darin, dass Flächen eine geforderte Mindestgröße

nicht erreichen, jedoch von ihrer Bedeutung her zu wichtig sind, um gelöscht zu werden. So werden beispielsweise bedeutende Siedlungsflächen in kleinmaßstäbigen Karten auf Punktsignaturen reduziert und bleiben somit erhalten. Ob eine Überführung in linien- oder punkthafte Objekte vollzogen wird, ist abhängig von der Charakteristik der Fläche. Ein Maß dafür ist die Kompaktheit (V), das Verhältnis von Umfang (u) zum Flächeninhalt (A). Je kleiner die Kompaktheit des betreffenden Objektes ist, desto eher passt es sich an die Form eines Kreises an und desto eher wird es in ein punktförmiges Objekt überführt.

$$\text{Kompaktheit: } V = \frac{u^2}{A} \quad [18]$$

2.5.5.1 Dimensionswechsel von Fläche zu Linie

Ein Geometrietyppwechsel von Fläche zu Linie muss nach HAUNERT & SESTER (2008) sechs Anforderungen erfüllen.

1. Die kollabierte Fläche muss vollständig unter den angrenzenden Flächen aufgeteilt werden, um ein topologisches Gesamtbild zu wahren. Es dürfen keine Lücken oder Überlappungen entstehen.
2. Die Form der benachbarten Flächen sollte möglichst wenig verändert werden.
3. Die semantischen Ähnlichkeiten zwischen den Objektarten sollten berücksichtigt werden, sodass ein Großteil der aufzuteilenden Fläche auf benachbarte Flächen ähnlicher Art fällt.
4. Topologische Beziehungen und Grenzen höherer Priorität müssen bestehen bleiben.
5. Ein Geometrietyppwechsel sollte nur auf bestimmte Bereiche anwendbar sein, um die 2-Dimensionalität eines Objektes dort zu erhalten, wo die Mindestweite erreicht wird.
6. Die abgeleitete Linie muss in seiner Form den Hauptausdehnungen des Polygons folgen und kleine Formabweichungen missachten.

Für die geometrische Überführung existieren verschiedene Verfahren.

SCHÜRER (2001) beschreibt die Mittellinienberechnung aus allen Punkten. Hierbei wird im ersten Schritt die längste Strecke aller Stützpunkte eines Polygons ermittelt. Diese Strecke bildet die x-Achse eines kartesischen Koordinatensystems. Von jedem Stützpunkt werden nun die Lote in y-Richtung gefällt, bis sie den gegenüberliegenden Flächenrand erreichen. Die Mittelpunkte der Strecken Stützpunkt-Flächenrand bilden die neuen Stützpunkte für die Mittellinie. Bei verästelten Polygonen kann es vorkommen, dass die Lote mehrfach über den Flächenrand treten und mehrere Mittelpunkte ergeben. Diese werden bei der Linienberechnung nicht mit einbezogen (siehe Abbildung 2.14).

HAUNERT (2008) beschreibt die Mittellinienfindung über Skelettierungsoperatoren. Die mediale Achse eines Polygons lässt sich durch Voronoi-Diagramme herleiten. Ein Voronoi-Diagramm ordnet Punkte einer euklidischen Ebene bestimmten vorgegebenen Punkten entsprechend ihrer Entfernung zu diesen zu. Entsprechend der Zuordnung der Punkte bilden sich Voronoi-Bereiche heraus. Punkte, die im gleichen Abstand zu zwei oder mehreren bestimmten Punkten liegen, bilden die Grenzlinien zwischen den Voronoi-Bereichen. Diese Grenzlinien entsprechen der medialen Achse. Das Voronoi-Diagramm lässt sich als duales Netz aus der Delaunay-Triangulation ableiten. Eine Annäherung der medialen Achse ergibt sich folglich aus der Verbindung von den Mittelpunkten der Dreiecksumkreise.

Eine triangulationsbasierte Skelettierung basiert auf einer Delaunay-Triangulation. Von jedem Dreieck, das eine gemeinsame Kante mit dem Ausgangspolygon hat, werden die Mittelpunkte der beiden anderen Kanten miteinander verbunden. Ein Sonderfall sind Dreiecke, die keine gemeinsame Kante mit dem Polygon haben. In diesem Fall werden im Allgemeinen die Mittelpunkte aller drei Kanten mit dem Schwerpunkt des Dreiecks verbunden. Dies führt jedoch meistens zu unerwünschten Spikes.

Die Konstruktion des Straight Skeletons beruht auf dem schrittweisen Zusammenschrumpfen des Ausgangspolygons. Durch parallele Verschiebungen der Polygonkanten nach innen bilden sich neue Schnittpunkte an den Stellen, wo verschobene Kanten zusammentreffen. Diese Schnittpunkte bilden die Stützpunkte der Skelettlinie. Beim Verschieben können zwei Sonderfälle auftreten. Zum einen kann es vorkommen, dass Kanten nicht mehr zum Schrumpfprozess beitragen. Dies ist der Fall, wenn die beiden benachbarten Kanten sich bereits zuvor überschneiden. Zum anderen kann sich das schrumpfende

Polygon in mehrere Polygone teilen. Anfällig ist diese Konstruktion bei Kanten, die in einem überstumpfen Winkel von annähernd 360° zueinander stehen. Die Skelettlinie wird dann vom Zentrum des Polygons weggedrückt. Um dies zu umgehen, können zusätzliche Kanten mit einer Länge von Null hinzugefügt werden.

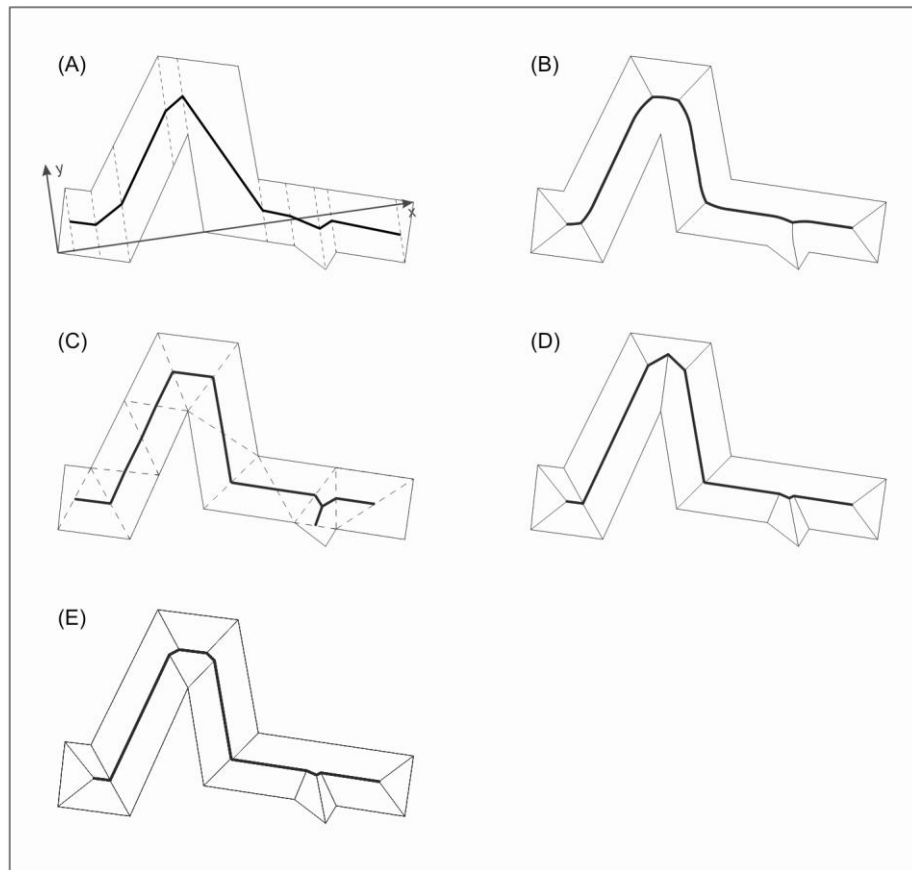


Abbildung 2.14 Mittellinienbildung

Mittellinienberechnung aus allen Punkten (A), mediale Achse (B), Skelettierung basierend auf einer Delaunay-Triangulation (C), Straight Skeleton (D), Straight Skeleton mit zusätzlichen Polygonkanten (E);
Quelle für (B) – (E): HAUNERT (2008, S. 62)

2.5.5.2 Dimensionswechsel von Fläche zu Punkt

Für die Reduktion von Flächen zu Punktobjekten gibt es ebenso verschiedene Ansätze. Eine gängige Vorgehensweise ist die Schwerpunktberechnung, jedoch mit dem Nachteil, dass der errechnete Schwerpunkt nicht zwangsläufig innerhalb des Polygons liegt. CARSTENSEN (1987) liefert weitere Ansätze zur Mittelpunktbestimmung. Auf eine nähere

Erläuterung der Verfahren wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet, da diese für die vorliegende Arbeit nicht relevant sind.

2.5.6 Linienvereinfachung und Linienglättung

Die Liniengeneralisierungsoperatoren lassen sich in Operatoren zur Linienvereinfachung durch Punktreduzierung und Linienglättung unterteilen. Inzwischen wurde eine Vielzahl von Algorithmen entworfen, die sich der Liniengeneralisierung widmen. SCHÜRER (2001) stellt eine Auswahl von Algorithmen tabellarisch zusammen und unterteilt diese in Algorithmen zur reinen Punktreduzierung, in Algorithmen zur Glättung mittels Punktverschiebung und in Algorithmen als Kombination aus beiden. Die Tabelle 2.1 zeigt die Unterteilung nach SCHÜRER (2001), wurde jedoch durch weitere Algorithmen ergänzt.

Name	Algorithmus		
	zur reinen Punktreduktion	zur Glättung von Linien mittels Punktverschiebung	als Kombination aus Punktreduktion und Linienvereinfachung
Jenks	X		
n-ter Punkt	X		
Brophy		X	
Cosinus Glättung		X	
Gew. Mittelbildung (McMaster)		X	
Gottschalk		X	
Perkal		X	
Tiefpassfilter		X	
NURB fit		X	
Snakes		X	
Douglas-Peucker			X
Gleitende Blende			X
Hentschel			X
Johannsen			X
Lang			X
Mittelstraß			X
Opheim			X
Reumann-Witkam			X
Schwarzbach			X
Whirlpool			X
Deveau			X
Thin			X

Tabelle 2.1 Einteilung verschiedener Glättungs- und Vereinfachungsalgorithmen

Im Folgenden werden der Douglas-(Peucker-)Algorithmus als populärster Linienvereinfachungsalgorithmus und der Linienglättungsalgorithmus nach McMaster beschrieben.

2.5.6.1 Douglas-Algorithmus

McMASTER (1987) beschreibt ausführlich die Funktionsweise einer Reihe ausgewählter Algorithmen. Zudem wurden die Algorithmen im Hinblick auf Versatz und Formerhaltung evaluiert, mit dem Ergebnis, dass der Douglas-Algorithmus (nach DAVID H. DOUGLAS, beschrieben in DOUGLAS & PEUCKER (1973)) als der geeignetste Linienvereinfachungsalgorithmus festgestellt wurde. Dieser Algorithmus verursacht nur einen geringen Versatz gegenüber der Ausgangslinie und behält die wichtigsten Stützpunkte bei. Dies erklärt, warum der Douglas-Algorithmus in der Generalisierung vielfach Anwendung findet.

Der Algorithmus basiert auf einer Punktreduktion. Im ersten Schritt wird die Gerade zwischen Anfangs- (Ankerpunkt) und Endpunkt (Laufpunkt) der Ausgangslinie ermittelt. Der von dieser Geraden am weitesten entfernte Stützpunkt wird nun bestimmt und der Abstand zur Geraden berechnet. Liegt der Abstand unter der vorgegebenen Toleranz, ist die Gerade bereits die bestangepasste Linie gegenüber der Ausgangsform. Übersteigt der Abstand jedoch die Toleranz, wird der Laufpunkt durch den ermittelten Stützpunkt ersetzt. Die Gerade zwischen Ankerpunkt und neuem Laufpunkt wird berechnet und erneut der entfernteste Stützpunkt ermittelt. Dieser Vorgang wiederholt sich bis alle Stützpunkte innerhalb der Toleranz liegen. Ist dies der Fall, wird der Ankerpunkt durch den letzten Laufpunkt ersetzt und erneut der Zyklus durchlaufen. Dies geschieht solange, bis das letzte Segment zwischen Laufpunkt und Endpunkt innerhalb der Toleranz bestimmt wurde. Um den Algorithmus recheneffizienter zu gestalten, werden die jeweiligen entferntesten Stützpunkte zwischengespeichert. Entsprechend kann der innere Zyklus vereinfacht werden, da eine ständige Neuberechnung der Laufpunkte entfällt. Die Funktionsweise des Algorithmus wird in Abbildung 2.15 verdeutlicht.

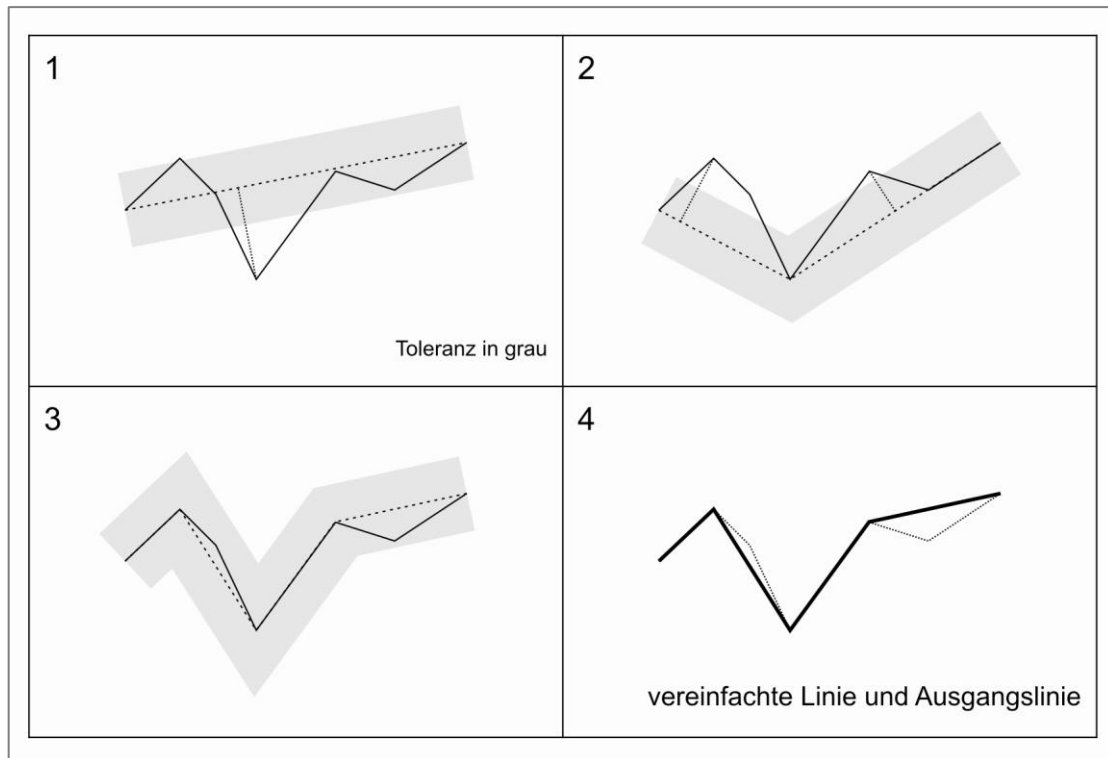


Abbildung 2.15 Beispiel für die Funktionsweise des Douglas-Algorithmus

2.5.6.2 McMaster-Algorithmus

McMasters gleitender Mittelpunkt-Algorithmus zählt zu den Linienglättungsalgorithmen. Von jedem Stützpunkt einer Linie wird der Mittelpunkt von dessen vorhergehenden und noch folgenden Stützpunkten sowie dem jeweiligen Stützpunkt selbst berechnet. Die Anzahl der benachbarten Stützpunkte, die bei der Berechnung berücksichtigt werden, muss vorab definiert werden. Die Anzahl ist symmetrisch auf die vorgehenden und nachfolgenden Stützpunkte aufzuteilen. Bei einer Anzahl von fünf Punkten sind für die Mittelpunkt-berechnung der Stützpunkte, die zwei vorhergehenden und die zwei folgenden Stützpunkte heranzuziehen. Dies bedeutet jedoch, dass für die ersten und letzten Stützpunkte einer Linie keine Mittelpunkt-bildung stattfinden kann, da eine entsprechende Anzahl von Vorgängern bzw. Nachfolgern fehlt. Diese Stützpunkte bleiben für die geglättete Linie unverändert. In allen anderen Fällen wird der Stützpunkt, auf den sich die Mittelpunkt-berechnung stützt, in Richtung Mittelpunkt verschoben. Der Stützpunkt „gleitet“ zum Mittelpunkt. Die prozentuale Verschiebung richtet sich nach einer weiteren Parametervorgabe.

Die Abbildung 2.16 verdeutlicht die Funktionsweise der Linienglättung nach McMASTER (1989).

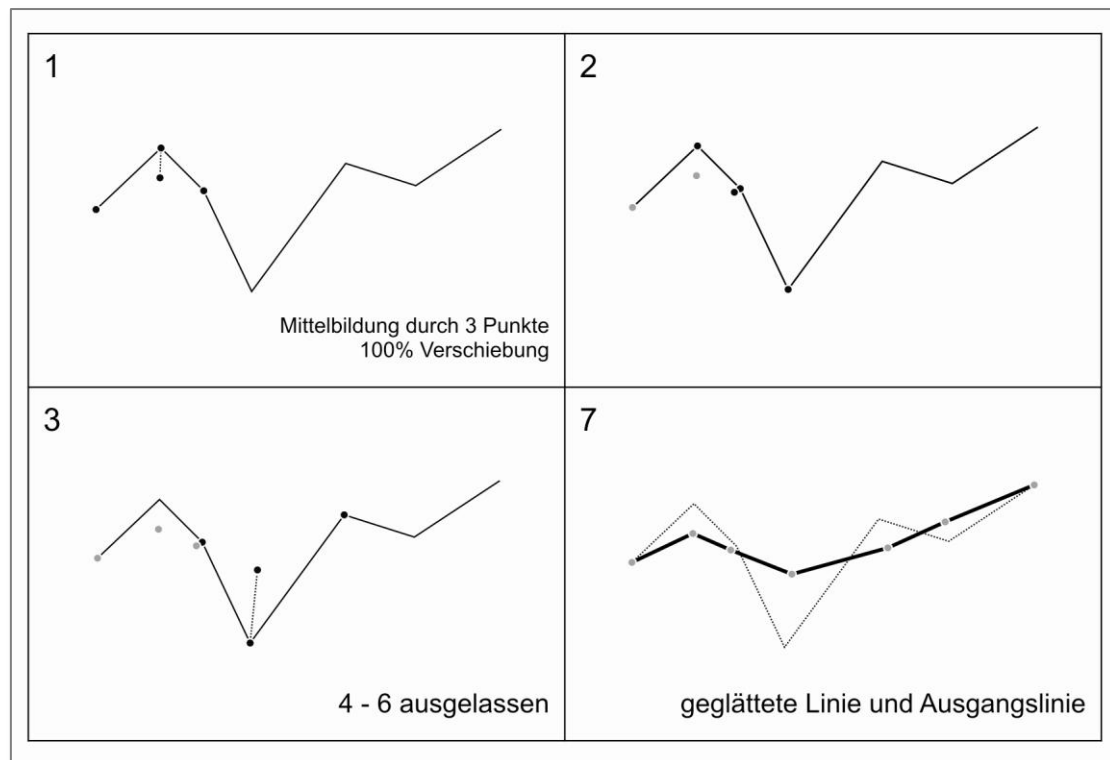


Abbildung 2.16 Beispiel für die Funktionsweise des McMaster-Algorithmus

2.5.7 Generalisierungsoperatoren in ausgewählten kommerziellen GIS

REGNAULD & McMASTER (2007) geben einen Überblick über implementierte Generalisierungsoperatoren in ausgewählten kommerziellen GIS-Plattformen. Die Tabelle 2.2 lehnt sich an dieser Übersicht an, beschränkt sich jedoch auf ArcInfo und ArcGIS und wurde durch FME erweitert. Zusätzliche Algorithmen wurden ergänzt.

Operatoren/Algorithmen	ArcInfo	ArcGIS 9.3	FME 2010
Linienvereinfachung			
Douglas	Ja	Ja	Ja
Thin			Ja
Deveau			Ja
Eigene Algorithmen	Kurvenvereinfachung	Kurvenvereinfachung	
Linienglättung			
McMaster			Ja
McConalogue	Ja		
Bezier		Ja	
Kubische Splines	Ja		
B-Splines (NURB fit)			Ja
Eigene Algorithmen		PEAK	
Flächenvereinfachung			
Orthogonale Form	Ja	Ja	
Rechteckbildung		Ja	
Flächenbetonung			
Flächenausweitung	Ja		
Fusion/Aggregation			
Zusammenfassen	Ja	Ja	Ja
Irreguläre Fusion	Ja	Ja	
Orthogonale Fusion	Ja	Ja	
Punktaggregation			Ja
Geometriotypwechsel			
Fläche > Punkt	Ja	Ja	Ja
Linie > Punkt	Ja	Ja	Ja
Punkt > Punkt		Ja	Ja
Fläche > Linie			Ja
Fläche > Kante			Ja
2 Linien > Linie	Ja	Ja	
Typifizieren			
Punkte			Ja
Nachbarschaftserkennung			
Konflikterkennung	Ja		
Verdrängung			
Stützpunktverdrängung			Ja

Tabelle 2.2 *Implementierte Generalisierungsoperatoren in ArcInfo, ArcGIS und FME*

Kapitel 3 | Datenmodelle der Digitalen Übersichtskarte der Stadt Dresden

3.1 Datenmodelle des Städtischen Vermessungsamtes Dresden

Dresden erhebt für das Stadtgebiet seine eigenen Daten. Die Erfassung der Geobasisdaten wird vorrangig vom Städtischen Vermessungsamt in Kooperation mit verschiedenen Ämtern entsprechend deren Kompetenzbereichen durchgeführt. So wird eine redundante Datenhaltung in den verschiedenen Ämtern vermieden und ein Datenaustausch auf Basis gleicher topographischer Daten gewährleistet. Im Hinblick auf die vorliegende Arbeit sind als Basisdaten das Erweiterte Straßenknotennetz (ESKN) und die Erweiterte Blockkarte (EBK) zu nennen.

3.1.1 Erweitertes Straßenknotennetz (ESKN)

Das Erweiterte Straßenknotennetz wurde konzipiert, um Straßennetzabfragen durchführen zu können und das Straßennetz Dresdens als Kartengrundlage für alle kleinmaßstäbigen thematischen Karten und für die Übersichtskarte Dresdens kartographisch darzustellen. Für diese Zwecke enthält das ESKN Kanten, die ebenso im Straßen-GIS (STRAGIS) des Straßenbauamtes geführt werden, und zusätzlich weitere Verkehrswege, wie Wanderwege, Park- und Waldwege oder Fährverbindungen. Dadurch kann eine graphische Auswertung der vielfältigen Informationen des STRAGIS realisiert werden.

Das ESKN wird in zwei Raumbezugsebenen gehalten. Für den mittleren Maßstabsbereich steht das Straßenknotennetz in 1:5.000 (SKN5), für den kleinmaßstäbigen Bereich in 1:25.000 (SKN25) zur Verfügung. Das primäre Ziel, das ESKN in beiden Raumbezugsebenen zu führen, ist es, den Laufendhaltungsaufwand zu minimieren und vielfältige Anwen-

dungen abzudecken. Ein Großteil der Kanten und Knoten kann für beide Raumbezugsebenen verwendet werden. Redundante Straßendaten treten nur bei notwendigen Abweichungen auf. Dabei sind folgende Abweichungen relevant:

- 1) Liegen Knoten im SKN5 dichter als 20 m nebeneinander, so werden diese im SKN25 zu einem Knoten zusammengelegt. Dadurch wird eine minimale Kantenlänge gewährt.
- 2) Getrennte Fahrbahnen werden im SKN5 geometrisch einzeln erfasst. Im SKN25 werden sie hingegen als gemittelte Achse aus beiden Fahrbahnen dargestellt. Autobahnen sind keine getrennten Fahrbahnen. Dieses gilt ebenso für die meisten Abbiegespuren.
- 3) Die Kanten im SKN25 sind gegebenenfalls verdrängt, um eine kartographische Darstellung in Abhängigkeit von der Signaturbreite der Straßen zu realisieren. Die lagerichtige Geometrie der Kanten bleibt im SKN5 erhalten.
- 4) Über- und Unterführungen werden nur im SKN25 geführt.

Beide Bezugsebenen werden in ein und demselben Datensatz gespeichert. Eine Zuordnung der entsprechenden Bezugsebene erfolgt über das Attribut ‚STATUS‘. Über Abfragen lässt sich die jeweilige Ebene extrahieren (siehe Anhang B). Eine Straßenklassifikation erfolgt über das Attribut ‚WDM‘. Eine Übersicht über den Aufbau des ESKN und die Bedeutung der jeweiligen Attributwerte befindet sich im Anhang B. (Vergleich VERMESSUNGSAMT DRESDEN (2008b))

3.1.2 Erweiterte Blockkarte (EBK)

Die Basisblockkarte (BBK) stellt die klein- und grobräumige Gliederung für ganz Dresden flächendeckend dar. Die kleinräumigen Elemente der BBK sind Blöcke. Diese werden durch die Kanten der SKN5, durch nicht überbaute Gemarkungsgrenzen, durch die grobräumige Gliederung und durch Nutzungsartengrenzen voneinander getrennt. Ebenso werden bei der Blocktrennung Gewässer mit einer Fläche über 1 Hektar und Bahngeländeflächen berücksichtigt. Für die Erfassung der Blöcke gibt es für bebaute Flächen keine

Mindestgröße, wohl aber für Gewässer, Streuobstflächen und innerörtlich unbebaute Flächen. Diese müssen mindesten 0,5 Hektar umfassen, um als Block dargestellt zu werden. Für alle weiteren Flächen gilt die Mindestgröße von einem Hektar. Die blockweise Erfassung Dresdens dient hauptsächlich statistischen und planerischen Zwecken. Jeder Block erhält eine spezifische Blocknummer. Diese enthält eine kodierte Zahlenfolge, welche die grobräumige Gliederung nach siedlungsstrukturellen, statistischen und administrativen Gesichtspunkten wiedergibt. Die Abbildung 3.1 zeigt diese Gliederung.

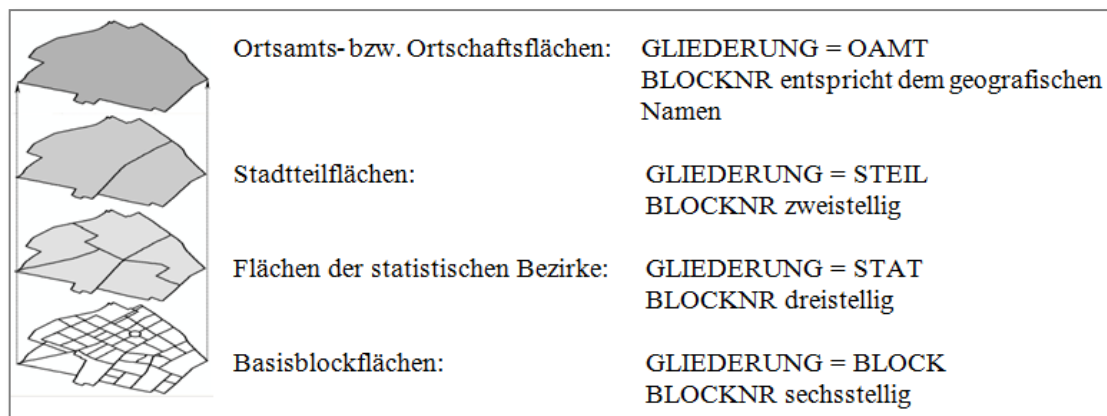


Abbildung 3.1 Grobräumige Gliederungsebenen der Basisblockkarte (VERMESSUNGSAmt DRESDEN (2008a))

Auf diese Weise können Fachdaten der Ämter, vorrangig der Kommunalen Statistikstelle, des Umweltamtes und des Stadtplanungsamtes, mit den Blöcken verknüpft und administrative Grenzen Dresdens abgeleitet werden. Zusätzlich wird die Nutzungsart eines jeden Blocks erfasst. Diese dient neben planerischen Zwecken der kartographischen Darstellung in Karten mittlerer und kleiner Maßstäbe. Die Nutzungsart wird als Code im Attribut ‚SST‘ erfasst.

Aufbauend auf der Basisblockkarte wird die Erweiterte Blockkarte (EBK) abgeleitet. Diese gliedert die Nutzungsarten präziser in zwei weitere Strukturtypebenen. Eine zusätzliche Blocktrennung ist deshalb unerlässlich. Die Blockkarte wird entsprechend feiner strukturiert. Die Erweiterte Blockkarte wird für die Flächendarstellung der Übersichtskarte verwendet. Eine Übersicht der Strukturtypengliederung und deren Ableitung für die Übersichtskarte befindet sich im Anhang C.

Da die BBK und die EBK vorrangig aus Kanten der SKN5 abgeleitet werden, besteht eine Korrelation zu dem ESKN. Die EBK- und ESKN-Daten bauen folglich aufeinander auf und stimmen topologisch überein. Dies bedingt eine zeitnahe Laufendhaltung beider Datenmodelle. (Vergleich (VERMESSUNGSAMT DRESDEN, 2008a))

3.2 ATKIS Basis-DLM

Die Übersichtskarte Dresdens ist als Rahmenkarte konzipiert. Für die Darstellung der umliegenden Gemeindeflächen werden die Daten des Staatsbetriebes Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (früher Landesvermessungsamt Sachsen) verwendet. Im Rahmen des AAA-Anwendungsschemas ATKIS steht das Digitale Landschaftsmodell (DLM) zur Verfügung. Das ATKIS-DLM beschreibt in abstrahierter Form die reale Landschaftsoberfläche und gliedert die Landschaft dabei nach topographischen Gesichtspunkten. Die Landschaft wird durch punkt-, linien- und flächenförmige Objekte beschrieben. Für das ATKIS-DLM stehen verschiedene Genauigkeitsbereiche zur Verfügung. Für die Übersichtskarte Dresden ist das Basis-DLM in 1:25.000 relevant. Ähnlich der Blockerfassung der BBK werden Maschen im Basis-DLM durch das Netz der Straßen, Hauptwirtschafts- und Wirtschaftswege, schienengebundenen Verkehrswege und Gewässer gebildet. Diese Maschen werden in Flächenobjekte mit einer jeweiligen Objektart entsprechend ihrer tatsächlichen Nutzung umgewandelt. Innerhalb einer Masche kann es jedoch zu weiteren Unterteilungen der Flächenobjekte kommen. Eine Unterteilung erfolgt dann, wenn ein neues Objekt mit anderer semantischer Bedeutung auftritt. Grundsätzlich gilt, dass die Objektflächen größer als ein Hektar sein müssen. Linienförmige Objekte müssen hingegen mindestens 500 m lang sein. Ausnahmen können sich für einzelne Objektarten ergeben. Eine redundanzfreie und lückenlose Abbildung der Erdoberfläche, wie sie für die Darstellung in der Übersichtskarte Dresden benötigt wird und bislang schwierig aus den DLM-Daten abzuleiten war, erfolgt nun im Objektartenbereich ‚Tatsächliche Nutzung‘. Zum Objektartenbereich zählen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer. Hierbei wird die Erdoberfläche mit Grundflächen beschrieben (Grundobjekte). In anderen Objektartenbereichen erfolgt eine zusätzliche Beschreibung der Erdoberfläche durch überlagernde Objektarten, wie Ausgestaltungs-, übergeordnete oder neutrale Objekte. Die Abbildung 3.2 verdeutlicht den Aufbau des DLMs durch unterschiedliche Ausgestaltungsclassen.

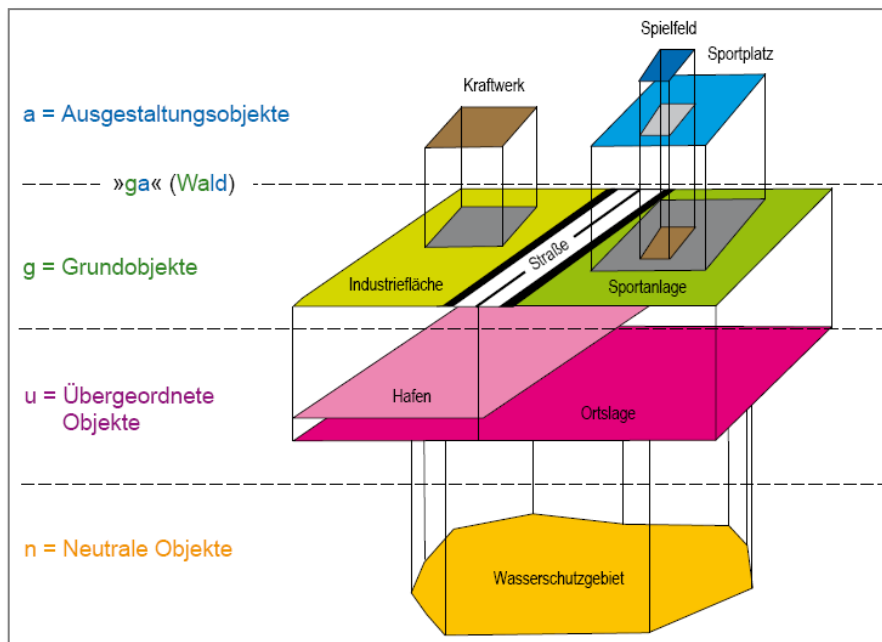


Abbildung 3.2 Ausgestaltungsklassen des DLMs (MAUL (2007, S. 14))

Jeder Objektartenbereich gliedert sich in verschiedene Objektartengruppen und diese wiederum in Objektarten auf. Die Objektarten werden zukünftig, einhergehend mit der Datenharmonisierung zwischen ATKIS und ALKIS, durch eine fünfstellige (ehemals vierstellige) Ziffernfolge kodiert. Die ersten beiden Ziffern geben die zugehörige Objektartengruppe an, während die letzten Ziffern die Objektart wiedergeben. Zur näheren Beschreibung eines Objektes werden qualitative und quantitative Eigenschaften in Attributen erfasst. Jede Objektart verlangt dabei bestimmte Attributarten. Die Attributwerte sind in einer vierstelligen Ziffer ebenfalls kodiert. Die jeweilige Objektart und die Attributwerte lassen sich im Objektartenkatalog (OK) zuordnen. (Vergleich AdV (2008))

Kapitel 4 | Generalisierungsverfahren und Parametrisierung

4.1 Anforderungen an das Generalisierungsergebnis und -verfahren

Das Generalisierungsverfahren ist so angelegt, dass zwei Folgemaßstäbe aus der Digitalen Übersichtskarte Dresdens in 1:25.000 abgeleitet werden können. Die digitalen Folgekarten liegen anschließend in den Maßstäben 1:50.000 und 1:90.000 vor. Die abgeleiteten Daten dienen ausschließlich der kartographischen Darstellung. Im Gegensatz hierzu dienen die Geodaten der Digitalen Übersichtskarte in 1:25.000 ebenso als Datengrundlage für Datenerhebungen anderer Ämter. Um Fachdaten anderer Ämter in die Folgekarte einbinden und graphisch darstellen zu können, bleiben zumindest administrative Grenzen gegenüber der Übersichtskarte 1:25.000 unverändert. Dies gilt für Grenzen zwischen Stadtteilen und Ortsämtern sowie insbesondere für die Stadtgrenze. Die bereits in der Übersichtskarte vereinfachte Stadtgrenze dient als Schnittvorlage, um die Daten des Umlandes aus dem ATKIS Basis-DLM-Bestand zu extrahieren. Da die bereits generalisierte Stadtgrenze nicht weiter vereinfacht wird, kann eine getrennte Generalisierung der Stadt und des Umlandes erfolgen. Eine anschließende Zusammensetzung beider abgeleiteter Datensätze zu einer Gesamtkarte ist nahtlos möglich. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass alle Linien- und Flächenobjekte der beiden Datensätze an der Stadtgrenze enden und keine Flächenlücken entstehen. Eine getrennte Generalisierung bietet zudem den Vorteil, dass bei unterschiedlicher Laufendhaltung der ATKIS- und Stadtdaten eine Generalisierung zeitnah zur Aktualisierung des jeweiligen Datenbestandes erfolgen kann – unabhängig von der Aktualität der anderen.

Für die Folgekarten in 1:50.000 und 1:90.000 gilt der gleiche Zeichenschlüssel wie bei der Übersichtskarte 1:25.000. Die Signaturbreiten sind für das Generalisierungsverfahren entsprechend zu berücksichtigen. Für Flächen ist eine Mindestgröße von 4 mm² in der Karte

angemessen. Dies entspricht einer Mindestgröße der Objekte von 1 ha in 1:50.000 und 3.24 ha in 1:90.000. Zusätzlich soll gelten, dass alle Flächen eine Mindestbreite von 40 m in 1:50.000 und 70 m in 1:90.000 aufweisen sollen.

4.2 Gesamtablauf des Generalisierungsverfahren

HARRIE & WEIBEL (2007) beschreiben drei Arten, wie ein Gesamtablauf der automatischen Generalisierung gestaltet werden kann. Dies kann regelbasiert als Bedingungs-Ausführungsmodellierung (Condition-action modelling) erfolgen. Die Durchführung der Generalisierung setzt dabei eine Strukturerkennung (Vergleich Brassel-Weibel-Modell, Kapitel 2.4.1) voraus. Das Ergebnis der Objektstrukturerkennung und die entsprechend hinterlegte Regel entscheiden, wie das Objekt generalisiert wird. Eine weitere Gestaltungsmöglichkeit bietet die Mensch-Computer-Interaktionsmodellierung (Human interaction modelling). Eine Vielzahl von Generalisierungsoperatoren liegt in Form von Toolboxen in einer Software vor. Der Nutzer bestimmt die Parameter der einzelnen Operatoren und fügt diese zu einem Gesamtablauf zusammen. Die dritte Modellierungsart ist die Zwangsbasierte Modellierung (Constraint-based modelling). Diese Modellierung ist dem regelbasierten Ansatz ähnlich, jedoch wird nicht die Art und Weise beschrieben, wie ein Objekt einer bestimmten Struktur generalisiert wird, sondern lediglich der Zustand des Endergebnisses. Dies ermöglicht eine größere Flexibilität in der Wahl der Operatoren, um ein optimales Generalisierungsergebnis zu erzeugen. Eine Form dieses Ansatzes ist die Agent-Modellierung. Ein Objekt lässt sich als Agent auffassen, wenn es aktiv und autonom agiert, um seine vorgegebenen Ziele zu erfüllen. Dabei führt der Agent Generalisierungsprozesse durch und evaluiert das Ergebnis anschließend. Gegebenenfalls versucht der Agent erneut, das vorgegebene Ziel durch andere Operatoren zu erreichen, bis ein geeigneter Zustand eintrifft.

Der Gesamtgeneralisierungsablauf der Übersichtskarte Dresdens wird als regelbasierter Bedingungs-Ausführungsansatz modelliert. Die verschiedenen Generalisierungsoperatoren bauen schrittweise aufeinander auf. Jedem Generalisierungsschritt geht eine Strukturerkennung voraus. Die Strukturerkennung kann sich auf die Semantik, Topologie oder Geometrie eines Objektes beziehen. Innerhalb eines Generalisierungsprozesses sind Re-

geln für die jeweilige Objektstruktur hinterlegt, ob und wie ein Objekt im jeweiligen Prozess generalisiert werden soll. Die Parameter für die Durchführung sind in einer Datenbank hinterlegt und werden während des Prozessierens abgerufen. Eine Definition über die Parameter und die Durchführung der einzelnen Generalisierungsschritte erfolgt in Kapitel 4.3.

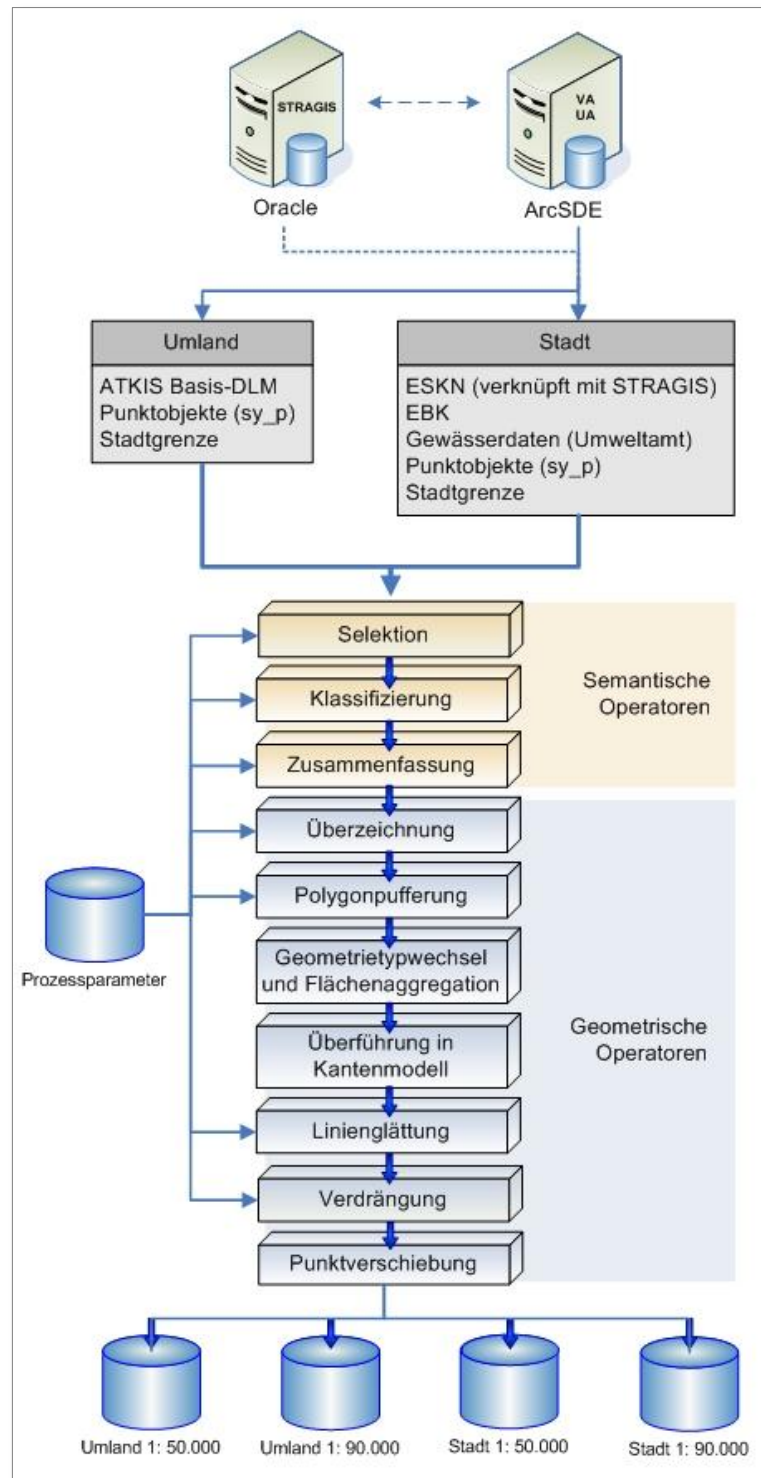


Abbildung 4.1 Gesamtablauf des Generalisierungsverfahrens

Der Aufbau des Generalisierungsablaufes ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Die Generalisierung erfolgt für das Umland und das Stadtgebiet getrennt. Im Generalisierungsablauf werden zu Beginn semantische Operatoren ausgeführt. Dies schließt die folgenden Operatoren ein: Selektion, Klassifikation und Zusammenfassung. Die Selektion und Klassifikation richtet sich individuell nach den Ausgangsdaten, jedoch wird durch die Klassifikation eine gemeinsame Datenstruktur mit gleichen Objektarten fürs Umland und für die Stadt geschaffen. Während sich die Operatoren der Selektion und der Klassifikation fürs Umland und für die Stadt unterscheiden, können die nachfolgenden Operatoren auf Grund der gleichen Objektstruktur gleichermaßen auf Daten der Stadt und des Umlandes angewendet werden. Semantische Operationen lassen sich im Gegensatz zu geometrischen rechentechnisch mit geringer Laufzeit durchführen. Ziel der Anwendung der semantischen Operatoren ist eine Reduzierung der Objektdichte. Dies erfolgt vorrangig durch Auswählen und Weglassen oder durch Aggregation mehrerer ähnlicher Objekte zu größeren geometrischen Objekten, ohne die innere Geometrie der Ausgangsobjekte zu verändern. Eine zu Beginn semantisch durchgeführte Objektreduzierung ermöglicht im nächsten Schritt eine schnellere geometrische Generalisierung. So können beispielsweise alleine durch die Klassifikation und das Zusammenfassen die Flächenobjekte der EBK von 15.769 auf 3.418 reduziert werden. Die anschließenden geometrischen Operatoren gliedern sich vorrangig in Überzeichnen, Geometrietypwechsel, Linienglättung und Verdrängung. Während sich die semantischen Operatoren weitgehend getrennt auf verschiedene Objektklassen anwenden lassen, können geometrische Operationen nur im topologischen Umfeld zu anderen Objektklassen durchgeführt werden. Beispielsweise führt ein Geometrietypwechsel zum Aufteilen der eliminierten Fläche an seine Nachbarn. Die Überschreitung einer Fläche unter diesen Umständen über eine angrenzende Straße hinaus ist topologisch inkorrekt. Der Geometrietypwechsel kann also nur unter Berücksichtigung der Straßendaten erfolgen. Ähnlich verhält es sich bei der Linienglättung und Verdrängung. Da das Straßennetz der Flächenbegrenzung dient und weitere Datensätze, wie Brücken- und Unterführungsdaten sowie Punktsignaturen, am Straßennetz orientiert sind, kann eine Linienglättung und Verdrängung nur im Zusammenhang mit allen Daten erfolgen. Es bietet sich deshalb an, vor der Glättung und Verdrängung alle Linien- und Flächenobjekte in ein gemeinsames Kantenmodell zu überführen und die Operatoren auf das Kantenmodell anzuwenden. Anschließend findet eine Rücküberführung in die einzelnen Datensätze

statt. Die Topologie der Datensätze zueinander bleibt so gewahrt. Die programmiertechnische Umsetzung des Verfahrens wird in Kapitel 5.3 beschrieben.

4.3 Algorithmen- und Parameterwahl für die Generalisierungsoperatoren

Die Generalisierungsoperatoren sind an den regelbasierten Gesamtprozess anzupassen. Dies erfolgt durch die geeignete Wahl der Algorithmen und Parameter. Zudem sind Regeln zu definieren, die eine eindeutige Generalisierungsanweisung in Form von Bedingungen und entsprechenden Ausführungen enthalten. Im Folgenden werden die Bestimmungen für die Operatoren angepasst auf die Datensätze diskutiert.

4.3.1 Anpassung der Selektion

Alle Selektionen erfolgen ausschließlich semantisch nach den Attributen eines Objektes. Die Geometrie eines Objektes, wie beispielsweise die Mindestgröße, ist für die Auswahl unerheblich.

Die EBK liegt flächendeckend für Dresden vor und enthält keine überlagernden Flächen. Ein Weglassen von Objekten eines bestimmten Strukturtyps führt zu Flächenlücken. Eine Selektion der EBK-Daten kann deshalb nicht erfolgen. Alle Flächen bleiben demzufolge unselektiert erhalten.

Bei den Straßendaten des ESKN hingegen findet eine Auswahl statt. Für die Darstellung des Straßennetzes in 1:50.000 und 1:90.000 bleiben Straßen folgender Widmung erhalten:

Autobahn (A) und Autobahnauffahrt (AA), Bundesstraße (B), Staatsstraße (S), Kreisstraße (K), sonstige Hauptstraße (H), Schienennetz der Deutschen Bahn (DB) und teilweise übrige Straßen (U)

Tabelle 4.1 *Auswahl der Objekte aus dem ESKN*

Straßen mit der Widmung ‚Übrige Straßen‘ werden nur übernommen, wenn sie als Hauptsammel- (HS) oder Sammelstraßen (SA) eingestuft sind. Eine derartige Unterteilung

ist für das ESKN nicht vorgesehen. Hauptsammel- und Sammelstraßen werden als Fachdaten im STRAGIS des Straßen- und Tiefbauamtes geführt. Eine Verknüpfung dieser Fachdaten mit dem ESKN ist über Schlüssel möglich und für die Selektion notwendig. Darüber hinaus muss das Straßennetz in 1:25.000 als Grundlage für die Generalisierung aus dem ESKN abgeleitet werden. Dabei werden die Kanten ausgewählt, deren Status ungleich 5 und ungleich -1 und deren Historie ungleich ‚ALT‘ ist (Vergleich Anhang B). Die gleiche Auswahl trifft auch für die Brücken- und Tunneldaten des ESKN zu.

Die Darstellung und Auswahl der Fließgewässer innerhalb Dresdens erfolgt über die Gewässerdatenbank des Umweltamtes. In der generalisierten Karte in 1:50.000 und 1:90.000 werden nur Fließgewässer 1. und 2. Ordnung dargestellt. Die Elbe ist als Flächenobjekt in der EBK bereits enthalten und bedarf keiner zusätzlichen Selektion. Die Auswahl der Gewässer 1. und 2. Ordnung erfolgt namentlich. Folgende Fließgewässer werden in die Folgemaßstäbe übernommen:

1. Ordnung	Vereinigte Weißeritz, Niedersedlitzer Flutgraben, Lockwitzbach, Große Röder
2. Ordnung	Zschonerbach, Kaitzbach, Blasewitz-Grunaer Landgraben/Koitschgraben/Leubnitzbach, Wachwitzbach, Helfenberger Bach, Keppbach, Schullwitzbach, Prießnitz, Weißiger Dorfbach, Roter Graben, Ruhlandgraben, Lausenbach, Ilschengraben, Lotzebach, Gorbitzbach, Friedrichsgrundbach, Mordgrundbach

Tabelle 4.2 Auswahl der Fließgewässer 1. und 2. Ordnung

Die Auswahl der ATKIS-Daten orientiert sich an den Objekten der EBK und den selektierten Straßenobjekten des ESKN. Die Selektion entspricht den für die Darstellung verwendeten Objekten in der Übersichtskarte 1:25.000. Dies schließt folgende Objekte des Datensatzes ATK-F ein:

Wohnbaufläche (2111), Industrie- und Gewerbefläche (2112), Fläche gemischter Nutzung (2113), Fläche besonderer funktionaler Prägung (2114), Bergbaubetrieb (2121), Deponie (2122), Kraftwerk (2126), Umspannstation (2127), Klärwerk (2129), Gärtnerei (2132), Heizwerk (2133), Wasserwerk (2134), Sportanlage (2201), Freizeitanlage (2202), Friedhof (2213), Grünanlage (2227), Campingplatz (2228), Tagebau/Steinbruch (2301), Halde (2302), Absetzbecken (2314), sonstiger Turm (2316, FKT 9999), Pumpe (2325), Schwimmbecken (2345), Parkplatz (3103, FKT 1802), Verkehrsfläche (3103, FKT 1809), sonstiger Platz (3103, FKT 9999), Hubschrauberlandeplatz (3302, FKT 2004), Segelfluggelände (3302, FKT 2005), Bahnhofsanlage (3501), Raststätte (3502), Ackerland (4101), Grünland (4102), Gartenland (4103), Heide (4104), Sumpf (4106), Wald (4107), Gehölz (4108), Baumschule (4109, KLT 1000), Weingarten (4109, KLT 3000), Obstbauplantage (4109, KLT 4000), sonstige Sonderkultur (4109, KLT 9999), nasser Boden (4111), z.Z. unbestimmte Fläche (4199), Fluss (5101), Kanal (5102), Graben (5103), Binnensee/Teich (5112)

Tabelle 4.3 *Auswahl der Flächenobjekte des Basis-DLMs¹*

Folgende Objekte werden als Linienobjekte aus dem Basis-DLM ATK-L selektiert:

Bundesautobahn (3101/3105, WDM 1301), Bundesstraße (3101/3105, WDM 1303), Staatsstraße (3101/3105, WDM 1305), Kreisstraße (3101/3105, WDM 1306), eingleisige Eisenbahnstrecke (3201/3205, BKT 1100, GLS 1000), zweigleisige Eisenbahnstrecke (3201/3205, BKT 1100, GLS 2000)

Tabelle 4.4 *Auswahl der Linienobjekte des Basis-DLMs¹*

Die Punktsignaturen liegen für das Umland und der Stadt in einem Datensatz (sy_p) vor. Für die Folgemaßstäbe werden folgende Punktobjekte aus diesem Datensatz gewählt:

Bahnhaltepunkt, Campingplatz, Freibad, Hallenbad, Post, Information, Jugendherberge, Krankenhaus, Landratsamt, Ortsamt, Rathaus, Kirche, Synagoge, Stadion

Tabelle 4.5 *Auswahl der Punktobjekte*

¹ Der Objektcode in Klammern entspricht dem Stand vom 03.12.2008. Dieser entspricht nicht dem aktuellen Objektcode des ATKIS Basis-DLMs.

4.3.2 Anpassung der Klassifikation

Für die Klassifikation der EBK-Daten ist der Strukturtyp der 3. Strukturebene („SST_LV_3“) eines Objektes entscheidend. Mehrere Objekte verschiedener Strukturtypen werden zu Objektgruppen gleicher Objektart zusammengefasst. Eine Überführung der Objekte erfolgt in folgende Objektarten:

Wohnbebauung, gemischte Bebauung, besondere Bebauung, Industrie/Gewerbe, Deponie, Grünanlage, Grünland, Friedhof, Weinanbau, Obstanbau/Kleingarten, Ackerland/Brache, Wald/Gehölz, Gewässer, Verkehr

Tabelle 4.6 *Objektarten nach der Klassifikation von Flächenobjekten*

Eine Tabelle mit Informationen darüber, welcher Strukturtyp in welche Objektart übergeht, befindet sich im Anhang C. Die Klassifikation in diese Objektarten entspricht der Darstellung in der Übersichtskarte 1:25.000. Diese Einteilung wird für die Folgemaßstäbe übernommen.

Die selektierten ATKIS Basis-DLM-Daten werden ebenso in die oben aufgeführten Objektarten überführt. Hierbei werden die Objekte unter Berücksichtigung ihrer Ausgangsobjektart und ihrer Attribute ‚Funktion‘ (FKT) und ‚Kultur‘ (KLT) klassifiziert. Eine Tabelle zur Klassenbildung der Basis-DLM-Daten befindet sich im Anhang D.

Die ausgewählten Straßendaten des ESKN bleiben in ihrer Widmung erhalten und werden nicht weiterklassifiziert (siehe Tabelle 4.1). Die Linienobjekte des ATKIS-Basis-DLMs hingegen werden klassifiziert. Entsprechend ihrer Objektart und ihrer Attribute ‚Widmung‘ (WDM), ‚Funktion‘ (FKT), ‚Verkehrsbedeutung‘ (BDI), ‚Bahnkategorie‘ (BKT) und ‚Anzahl der Gleise‘ (GLS) erfolgt eine Überführung zu Klassen, die denen des ESKN entsprechen. Die nachfolgende Tabelle gliedert die Objektklassifikation für Linienobjekte des Basis-DLMs auf. Die Punkt- und Gewässerdaten bleiben in ihrer Klassenstruktur erhalten.

OBJART	WDM	FKT	BDI	BKT	GLS	Klassifikation zu	
3101	1301	2301	9997			AA	Autobahnauffahrt
	1303	2301	9997			B	Bundesstraße
	1303	2301	1000				
	1305	2301	9997			K	Kreisstraße
	1305	2301	1000				
	1306	2301	9997			S	Staatsstraße
	1306	2301	1000				
3105	1301		9997			S	Staatsstraße
	1301		1000				
	1303		9997			B	Bundesstraße
	1303		1000				
	1305		9997			A	Autobahn
	1305		1000				
3201				1100	1000	DB	Bahnstrecke
				1100	2000		
3205				1100	1000	DB	Bahnstrecke
				1100	2000		

Tabelle 4.7 Klassifikation der Linienobjekte des Basis-DLMs²

4.3.3 Anpassung der Zusammenfassung

Die Zusammenfassung von Objekten im Sinne eines Gebietszuwachses (Vergleich Kapitel 2.5.2) erfolgt für Flächenobjekte, welche die Mindestgröße unterschreiten. In Kapitel 4.1 wurde bereits definiert, dass alle Objekte in 1:50.000 eine Mindestgröße von 1 ha und in 1:90.000 eine Mindestgröße von 3.24 ha aufweisen müssen. Unterlaufen Objekte nach der Klassifikation diese Anforderung für den gewählten Maßstab, so werden diese Objekte einer benachbarten Fläche zugeordnet. Dies kann, wie bereits beschrieben, ausschließlich semantisch, ausschließlich geometrisch oder semantisch-geometrisch erfolgen. Der Generalisierungsoperator Zusammenfassen/Gebietszuwachs lässt sich deshalb nicht als rein semantischer Operator definieren.

Eine Rangreihenfolge über die Prioritäten der Nachbarflächen ist notwendig, um eine eindeutige Zuordnung des Flächenobjektes zur ranghöchsten Fläche zu gewährleisten. Zu diesem Zweck ist eine Prioritätentabelle (Tabelle 4.7) erstellt worden, die die Klassenverwandtschaft einer Objektart (Zeile) zu einer anderen Objektart (Spalte) bewertet. Die Prioritätentabelle orientiert sich dabei an ähnlichen Tabellen, beispielsweise zur Flächenge-

² Der Objektcode in Klammern entspricht dem Stand vom 03.12.2008. Dieser entspricht nicht dem aktuellen Objektcode des ATKIS Basis-DLMs.

neralisierung von Daten des CORINE Land Cover 2000 Projektes (KEIL, KIEFL & STRUNZ (2005, S. 71)) und der Generalisierung von ATKIS-Daten (SCHÜRER (2001, S. 143)). Zudem wurden individuelle Prioritätentabellen von Probanden aufgestellt, deren Ergebnisse Berücksichtigung fanden.

	Wohnbebauung	Gem. Bebauung	Bes. Bebauung	Industrie/Gewerbe	Deponie	Grünanlage	Friedhof	Grünland	Sumpf	Weinbau	Obstanb./Kleingärten	Ackerland/Brache	Wald/Gehölz	Gewässer	Verkehr	unbestimmt
Wohnbeb.	100	90	90	80	70	80	80	70	50	70	70	70	60	40	80	0
Gem. Beb.	90	100	90	90	70	80	80	70	50	70	70	70	60	40	80	0
Bes. Beb.	90	90	100	80	70	80	70	70	50	70	70	70	60	40	80	0
Ind./Gew.	70	70	70	100	90	60	50	40	40	40	40	50	40	30	90	0
Deponie	60	60	60	90	100	50	40	50	50	40	40	50	30	30	70	0
Grünanlage	80	70	70	60	60	100	80	50	40	50	60	50	50	40	60	0
Friedhof	70	70	60	60	50	80	100	60	40	40	40	40	50	30	50	0
Grünland	60	60	60	40	40	70	60	100	70	70	70	80	40	30	40	0
Sumpf	30	30	30	30	30	30	30	60	100	40	50	60	60	70	30	0
Weinbau	60	60	60	50	40	50	40	70	40	100	90	70	50	30	40	0
Obst/Kleing.	60	60	60	50	30	50	40	70	30	90	100	70	70	30	40	0
Ackerland	60	60	60	60	60	50	40	80	50	70	70	100	60	30	50	0
Wald/Gehölz	40	40	40	40	40	60	50	50	50	40	60	60	100	30	40	0
Gewässer	40	40	40	40	40	50	40	50	70	40	40	40	40	100	40	0
Verkehr	80	80	80	90	70	60	50	50	40	50	50	50	40	30	100	0
unbestimmt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0

Tabelle 4.8*Prioritätentabelle zur Bestimmung von Klassenverwandtschaften*

Gleiche Objektklassen haben die höchste Priorität und sollen vorrangig miteinander zusammengefasst werden. Bei der Klassifikation werden unbestimmte Flächen auch dann einer benachbarten Fläche zugesprochen, wenn sie die Mindestgröße erreichen. Ein Zusammenfassen mit einer unbestimmten Fläche ist ausgeschlossen. Damit entfallen alle unbestimmten Flächen nach der Zusammenfassung.

Eine rein semantische Zusammenfassung nach Klassenverwandtschaften führt häufig nicht zum gewünschten Erfolg. Das Ziel, größere kompaktere Flächengeometrien zu erzeugen, missglückt in ungünstigen Fällen. Die Abbildung 4.2 zeigt ein Beispiel aus dem Testdatensatz von Cossebaude. Die Zusammenfassung einer Verkehrsfläche (Parkplatz) mit einer versiegelten Fläche (z.B. Wohnbebauung) ist semantisch durchaus erwünscht, jedoch führt dies dazu, dass die aggregierte Fläche in mehreren Bereichen die Mindest-

breite unterschreitet. Gleiches geschieht bei der angrenzenden Grünfläche. Dieser Effekt lässt sich vermeiden, wenn eine Zusammenfassung mit der Fläche vollzogen wird, mit der die längste gemeinsame Grenze besteht. Ein Zusammenfassen der Verkehrsfläche und der angrenzenden Grünanlage ist aus geometrischer Sicht sinnvoll, berücksichtigt jedoch keine semantischen Ähnlichkeiten der Objekte. Eine Kombination der Priorität gemäß der Klassenverwandtschaft und der Länge der gemeinsamen Grenze erscheint am geeignetsten zu sein. Die Länge der Grenze muss als relative Länge gegenüber dem Gesamtumfang der Ausgangsfläche berechnet werden. Das Produkt aus der relativen Grenzlänge und der Priorität liefert einen quantitativen Wert zum Vergleich aller benachbarten Flächen. Der Fläche mit dem höchsten Wert wird die Ausgangsfläche zugesprochen. Bei Flächen mit gleichem Entscheidungswert ist die absolute Grenzlänge ausschlaggebend. Das Ergebnis in Abbildung 4.2 (C) bestätigt diesen Ansatz.



Abbildung 4.2 Beispiel für die semantische und geometrische Zusammenfassung von Objekten. (A) Ausgangssituation, (B) semantische Zusammenfassung nach der Prioritätentabelle, (C) geometrische Zusammenfassung nach der längsten gemeinsamen Grenze, (D) Kombination aus semantischer und geometrischer Zusammenfassung

Eingeschränkt wird die Wahl der geeigneten Nachbarfläche dahingehend, dass eine Vereinigung zweier Flächen über Straßenobjekte hinaus nicht vollzogen werden darf. Eine

durch eine Straße getrennte Nachbarfläche kann bei der Prioritätsbestimmung nicht berücksichtigt werden, auch wenn zu ihr eine hohe Klassenverwandtschaft besteht. Grenzt die Ausgangsfläche vollständig an Straßenobjekte, kann diese Fläche mit keiner anderen Fläche zusammengefasst werden und bleibt somit als eigenständige Fläche erhalten, auch wenn sie die Mindestgröße unterläuft. Im späteren Generalisierungsablauf, beispielsweise bei der Verdrängung, wird diese Fläche den Mindestanforderungen entsprechend vergrößert.

Eine weitere Einschränkung gilt Flächen, welche die Mindestgröße unterschreiten, jedoch im nachfolgenden Generalisierungsschritt (Kapitel 4.3.4) überzeichnet werden. Sie bleiben von der Zusammenfassung ausgeschlossen.

4.3.4 Anpassung der Überzeichnung

Die Überzeichnung (auch Vergrößern) dient dem Erhalt zu kleiner Flächen, die insbesondere in ihrem topographischen Umfeld zu bedeutend sind, als dass sie weggelassen werden können. Um dies zu erreichen, müssen sie auf die Mindestdimensionen vergrößert werden. Da eine Bewertung der Bedeutung einzelner Flächen automatisiert schwer umsetzbar ist, müssen diese Flächen vom Nutzer individuell bewertet werden. Alle vergrößerungswürdigen Blöcke der EBK werden durch ihre spezifische Blocknummer in einer Tabelle festgehalten. Von allen Blöcken, die in der Tabelle verzeichnet sind, werden die medialen Achsen berechnet. Die mediale Achse wird entsprechend der Vorgaben über die Mindestbreite im jeweiligen Maßstab gepuffert. Die Pufferbreite entspricht der halben Mindestbreite zuzüglich einer Toleranz von einem Meter. In 1:50.000 entspricht dies 21 m, in 1:90.000 hingegen 36 m. Um eine Vergrößerung nicht über Straßen hinweg durchzuführen, wird die mediale Achse zuvor im Abstand von 21 m bzw. 36 m von den angrenzenden Straßen verdrängt. Die gepufferte mediale Achse wird mit der Ausgangsgeometrie des Objektes vereint. So bleiben charakteristische Formen von Objekten weitestgehend erhalten. Eine Vergrößerung einzelner Objekte führt im Umkehrschluss zur Verkleinerung benachbarter Objekte. Überlappende Bereiche zwischen der vergrößerten Fläche und den angrenzenden Flächen werden von den angrenzenden Flächen abgezogen. Problematisch ist bislang, dass zwei aneinander grenzende Flächen, die vergrößert werden, miteinander

in Konflikt treten. Im Verfahren wird die erste Fläche laut Tabelle vergrößert, dann folgt die zweite. Diese ist dominierend gegenüber der ersten. Ihre Vergrößerung bleibt vollständig erhalten, während die erste Fläche einen Flächenverlust im Bereich der zweiten Fläche erleidet. Ebenso problematisch sind Flächen zwischen eng parallel verlaufenden Straßen. Eine Verdrängung der Medialachse kann nicht zum Erfolg führen, auf Grund der geringen Platzverhältnisse. Eine Verdrängung der angrenzenden Straßen erscheint sinnvoller, jedoch auf Grund der Komplexität der Daten und ihrer topologischen Verknüpfungen untereinander ist jene Verdrängung an dieser Stelle des Generalisierungsablaufes impraktikabel. Ein möglicher späterer Verlust dieser Flächenobjekte ist zwar nicht wünschenswert, aber derzeit nicht auszuschließen.

4.3.5 Anpassung des Geometriotypwechsels

Ein Geometriewechsel von Fläche zu Linie führt zum Wegfallen ganzer Flächen und zur Aufteilung der Gesamtfläche auf angrenzende Flächen. Dies führt zu starken Formveränderungen der Objekte. Es ist deshalb wünschenswert, den Geometriewechsel nur auf Flächenbereiche, bei denen die Mindestbreite unterschritten wird, zu begrenzen. Eine vorhergehende Analyse und Teilung der Fläche in derartige Bereiche ist notwendig.

Durch eine nach innen gerichtete Pufferung (Erosion) und eine anschließende Pufferung nach außen (Dilatation) können Objektbereiche bestimmt werden, bei denen die Mindestanforderungen erfüllt sind. Bereiche, welche die Mindestbreite unterschreiten, entfallen. Subtrahiert man die entstandenen Teilflächen von der Ausgangsfläche, können die Teilflächen bestimmt werden, die einen Geometriotypwechsel nach sich ziehen. Je größer die Pufferbreite ist, desto höher ist die Anzahl der Flächen, auf die ein Geometriotypwechsel fällt. Dies führt zu starken Formveränderungen der Flächen, insbesondere dann, wenn viele solcher Flächen aneinander grenzen. Theoretische Mindestbreiten von 100 m in 1:50.000 und 180 m in 1:90.000 (jeweils 2 mm in der Karte) schienen ungeeignet. Sie führten zu starken und unerwünschten Formänderungen der Landschaftsdarstellung (siehe Abbildung 4.3). Als praktikabel erwiesen sich Mindestbreiten von 40 m bzw. 70 m. Für die innengerichtete Pufferung gilt deshalb die halbe Mindestbreite von 20 m bzw. 35 m. Für die außengerichtete Pufferung wird eine Toleranz von drei Metern hinzugerechnet.

Durch die Teilung der Ausgangsfläche können erneut Flächen entstehen, die zwar die vorgegebene Mindestbreite erfüllen, jedoch nicht die Anforderung einer Mindestfläche von 1 ha bzw. 3,24 ha. Für diese Flächen wird ebenfalls ein Geometriotypwechsel vollzogen.

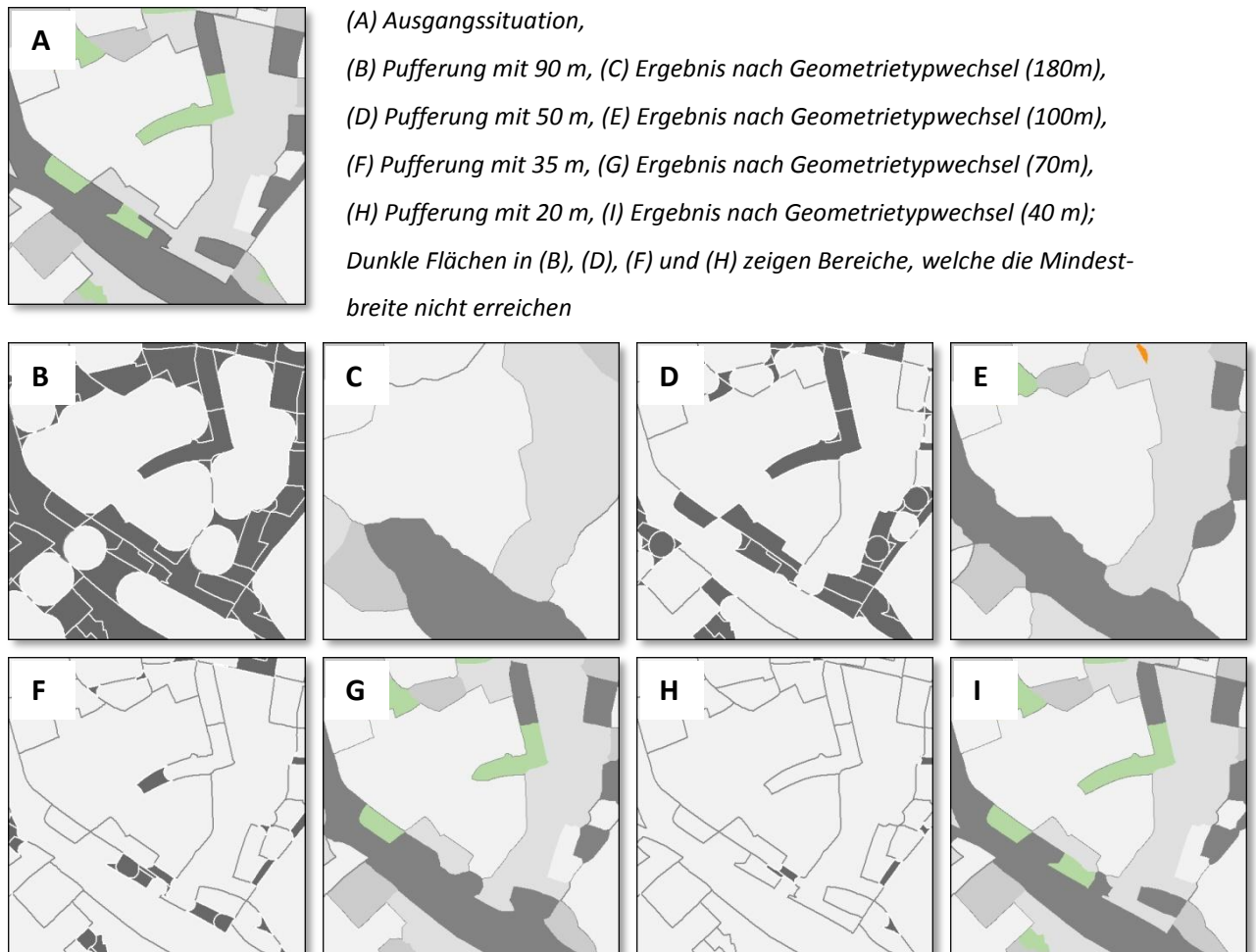


Abbildung 4.3 Ergebnisse des Geometriotypwechsels mit verschiedenen Pufferweiten

Für diese Geometriotypwechselflächen wird die Medialachse bestimmt. Alle benachbarten Flächen werden ausgehend von den beiden Knotenpunkten der gemeinsamen Grenzkannte auf die Medialachse projiziert. Grenzen die Teilflächen an Straßen, so dürfen benachbarte Flächen nicht über die Straßen projiziert werden. In diesem Fall werden die angrenzenden Flächen nicht auf die mediale Achse sondern auf die Straßenachse verlängert. Dies hat jedoch zur Konsequenz, dass gegebenenfalls Flächen, die zuvor nicht an Straßen grenzten, das nun tun (siehe Abbildung 4.4). Dies stellt einen unerwünschten Effekt dar, der vermieden werden kann, wenn derartige Flächen von der Projektion auf

die Straßendaten ausgeschlossen werden. Dann ist allerdings mit Flächenlücken zu rechnen, die durch andere benachbarte Flächen zu schließen wären.



Abbildung 4.4 Unerwünschte Flächenprojektionen auf Straßen

Ein weiterer Sonderfall kann auftreten, wenn zwei voneinander getrennte Verkehrsachsen an die eliminierte Fläche grenzen. Dies ist beispielsweise häufig der Fall bei Verkehrsflächen zwischen parallel verlaufenden Straßen und Bahnstrecken. Zwischen den Achsen ist eine annähernd orthogonale Linie zu konstruieren, die zusammen mit den beiden Verkehrsachsen als Begrenzung für die neuen Flächen dient. Gesondert müssen auch Geometriewechselflächen, die an die Stadtgrenze anschließen, berücksichtigt werden. In diesen Fällen sind alle benachbarten Flächen auf die Stadtgrenze zu projizieren.

4.3.6 Anpassung der Linienglättung und Linienvereinfachung

Linienglättungen und -vereinfachungen sind wesentliche Bestandteile aller Generalisierungsverfahren und verbunden mit dem Ziel, Linienstrukturen maßstabsgerecht anzupassen, ohne die landschaftsbildende Linienform zu verändern. Durch Vereinfachung oder Glättung werden Überlagerungen von Linien reduziert und gleichzeitig die Minimierung der Rechendauer von Verdrängungsalgorithmen erreicht. Eine separate Glättung oder Vereinfachung von Flächen- und Linienobjekten führt jedoch nicht zum gewünschten Ziel. Da die einzelnen Polygone unterschiedliche Start- und Endknotenpunkte besitzen, erfolgt eine Punktreduzierung oder Punktverschiebung für die Polygone individuell. Um dies zu

umgehen, müssen alle Flächenobjekte in ein Modell basierend auf ihrer Kanten-Knoten-Struktur überführt werden. Zusätzlich lassen sich die Linienobjekte (Straßendaten, Stadtgrenze) auf das Kantenmodell übertragen. Die Vereinfachung/Glättung kann so auf die Kanten des Modelles, also auf gemeinsame Grenzlinien der Flächenobjekte, angewendet werden. Da, wie mehrfach erwähnt, die Stadtgrenze ungeneralisiert bleiben muss, werden alle Kanten, die zur Bildung der Stadtgrenze beitragen, von der Glättung/Vereinfachung ausgeschlossen.

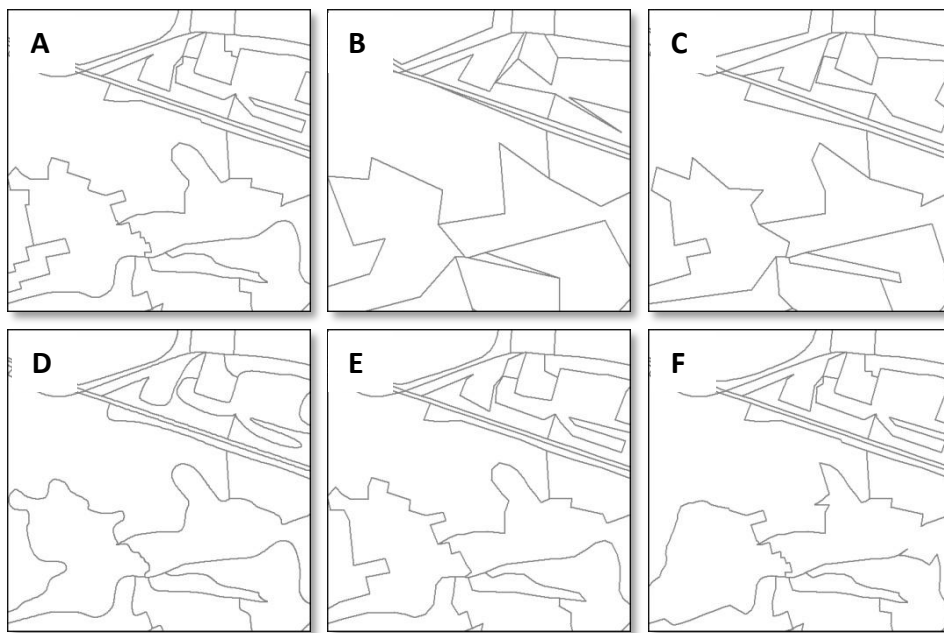


Abbildung 4.5 Vergleich verschiedener Linienvereinfachungs- und Linienglättungsalgorithmen mit weitgehend gleichen Parametern. (A) Ausgangssituation, (B) Douglas, (C) Deveau, (D) NURB fit, (E) Thin, (F) McMaster

Im Test mehrerer Glättungs- und Vereinfachungsalgorithmen (s. Abbildung 4.4), die in FME implementiert sind, erwies sich der gleitende Mittelpunkt-Algorithmus von McMaster als geeigneter Glättungsalgorithmus, der die Ansprüche an die Generalisierung von Flächenobjekten unter Berücksichtigung der Straßendaten am besten erfüllt. Vereinfachungsalgorithmen wie der Douglas-Algorithmus basieren auf einer Stützpunktreduzierung. Dies führt zum Verlust runder und geschwungener Objektformen und damit zum Verlust charakteristischer Landschaftsbeschreibungen. Das Ergebnis einer derartigen Vereinfachung sind starre, gerade Linienstrukturen. In Bereichen mit hoher Liniendichte kön-

nen verstärkt Überschneidungen in Folge der Linienvereinfachung auftreten. Eine Glättung durch den McMaster-Algorithmus erhält hingegen alle Stützstellen, schwächt aber Schwingungen und Sprünge innerhalb einer Linie ab. So bleiben nicht nur charakteristische Rundungen der Linien bestehen, sondern auch gerade Strukturen. Für die Verschiebung eines jeden Stützpunktes werden der vorhergehende und nachfolgende Stützpunkt berücksichtigt. Als Parameter für die Anzahl der Nachbarn wird folglich 3 mit einer jeweiligen Gewichtung von 2 festgesetzt. Der Stützpunkt wird von seiner Ausgangsposition 50 % in Richtung des Mittelpunktes verschoben. Das Gewässernetz, welches im Kantenmodell keine Berücksichtigung findet und topologisch nicht auf den anderen Daten aufbaut, wird getrennt vereinfacht. Eigene empirische Untersuchungen verschiedener Algorithmen lassen den Schluss zu, dass eine Kombination des Douglas-Algorithmus mit einer Toleranz von 20 m und einer anschließenden Glättung nach dem McMaster-Algorithmus, unter Berücksichtigung von 5 Nachbarn und einer Verschiebungsweite von 50 % optimale Ergebnisse hervorbringt.

4.3.7 Anpassung der Verdrängung

In FME ist eine Adaption des Verdrängungsalgorithmus nach Nickerson implementiert. Tests mit verschiedenen Werten für die Punkthärte, also wie stark ein Punkt Einfluss auf die Punktpriorität benachbarter Punkte hat, führten zu wenig befriedigenden Ergebnissen. Zum gleichen Schluss gelangen auch BADER & BARRAULT (2000). Der Algorithmus erfüllt nicht die kartographischen Anforderungen. Es empfiehlt sich deshalb, diesen Algorithmus für die Verdrängung nicht zu verwenden. Ein Verdrängungsansatz auf Basis der Energieminimierung über Snakes erscheint sinnvoll. Da die Verdrängung auf den zuvor geglätteten Kanten erfolgt, ist das Variationsverfahren anzustreben, obgleich es mit einer höheren Rechenzeit verbunden ist. Der Hardcore-Abstand richtet sich nach der größten Linien-signaturbreite. Diese beträgt für Autobahnen 2 mm. Für 1:50.000 ergibt dies eine Breite von 100 m und in 1:90.000 180 m. Hinzu wird eine Toleranz von 10 m gerechnet. So beträgt der Hardcore-Abstand 110 m bzw. 190 m. Im Test mehrerer Werte für die Parameter Alpha und Beta erwiesen sich höhere Werte (Bsp. 5) als geeignet (siehe Abbildung 4.5). Sie erhalten die linientypische Form am besten. Die Anzahl der Iterationen hingegen spielt eine weniger bedeutende Rolle. Eine höhere Zahl an Iteration führt nur zu geringen Ver-

besserungen gegenüber wenigen Iterationen. Die Tests erfolgten auf der GIS-Plattform GRASS, da der Snake-Ansatz weder in ArcGIS noch in FME zur Verfügung steht. Eine nachträgliche Implementierung des Snake-Ansatzes in den Generalisierungsprozess sollte angestrebt werden. Jedoch bietet die Verdrängung durch Snakes keine Knotenpunktverschiebung, was nachteilig für die Formwahrung ist (siehe Abbildung 4.5). Einen Ausweg bietet der Verdrängungsansatz basierend auf den Biegebalken.

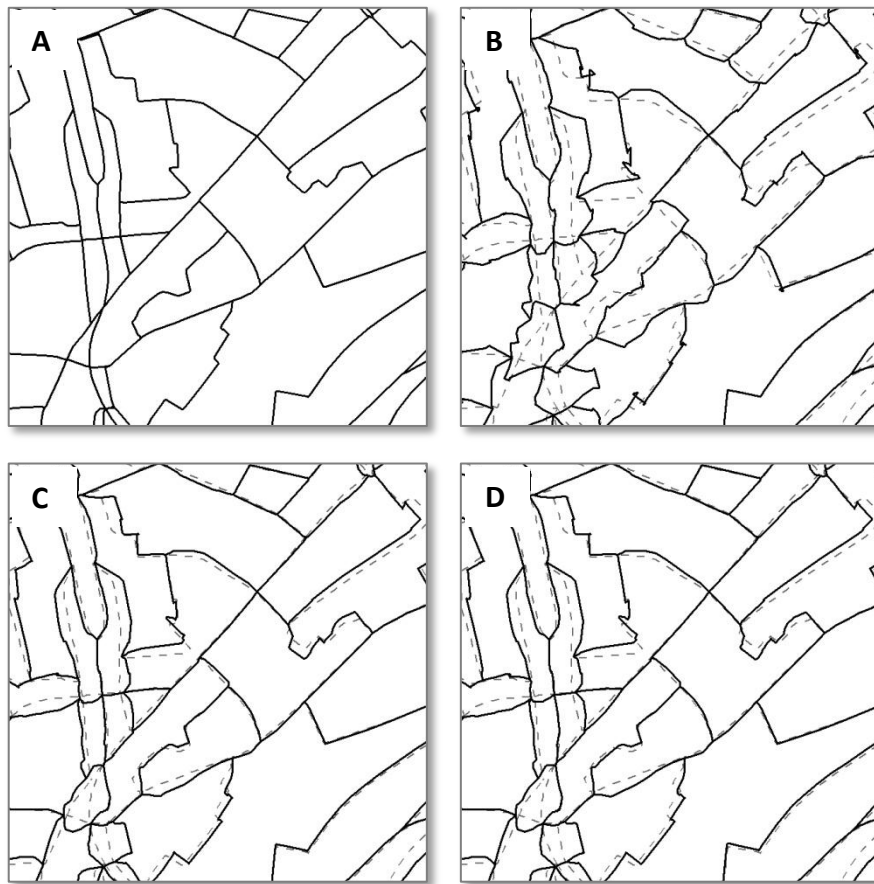


Abbildung 4.6 Vergleich verschiedener Parameter für die Verdrängung auf Basis von Snakes. (A) Ausgangssituation, (B) Verdrängung nach 10 Iterationen mit $\alpha = 1$ und $\beta = 1$, (C) Verdrängung nach 10 Iterationen mit $\alpha = 5$ und $\beta = 5$, (D) Verdrängung nach 100 Iterationen mit $\alpha = 5$ und $\beta = 5$.

Kapitel 5 | Programmtechnische Umsetzung

5.1 Weiterentwicklungsmöglichkeiten von GIS-Applikationen durch objektorientiertes Programmieren

Ein Geoinformationssystem ist als Software zum Erfassen, Verwalten und Ausgeben von Geodaten zu verstehen. Zusätzlich bietet es zahlreiche Funktionen zur Datenanalyse (MÜLLER (2002)). Eine derartige Software liefert beispielsweise die Firma ESRI mit ArcGIS Desktop. ArcGIS Desktop besteht aus einer Reihe von integrierten Anwendungen, wie ArcMap, ArcCatalog oder ArcToolbox. Das Fundament, auf dem all diese Anwendungen aufbauen, sind objektorientierte Bausteine - die ArcObjects. Der Grundgedanke hinter einem solchen objektorientierten Konzept besteht darin, Objekte in Klassen zu ordnen. Jedes Objekt verfügt entsprechend seiner Klassenzugehörigkeit über bestimmte Eigenschaften (Attribute) und bestimmte Verhaltensweisen (Methoden). Methoden können unter anderem neue Objekte anderer Klassen hervorrufen. Objekte können darüber hinaus aber auch aus anderen Objekten zusammengesetzt sein oder auf diese verweisen. Sie sind dann als komplexe Objekte zu verstehen. Die Klassen leiten sich aus übergeordneten Klassen ab. Sie erben die Eigenschaften und Methoden der Vorgängerklassen, haben aber zusätzliche Eigenschaften und Methoden, welche die Klasse spezifizieren. Je höher eine Klasse in dieser Vererbungshierarchie steht, desto abstrakter muss sie in ihren Eigenschaften und Methoden gestaltet sein. Dabei können abstrakten Klassen keine Objekte zugeordnet werden. Eine wichtige Eigenschaft der Vererbung ist die Polymorphie. Sie erlaubt einer Instanz erst während der Laufzeit eines Programmes ihre Klassenzugehörigkeit zu definieren.

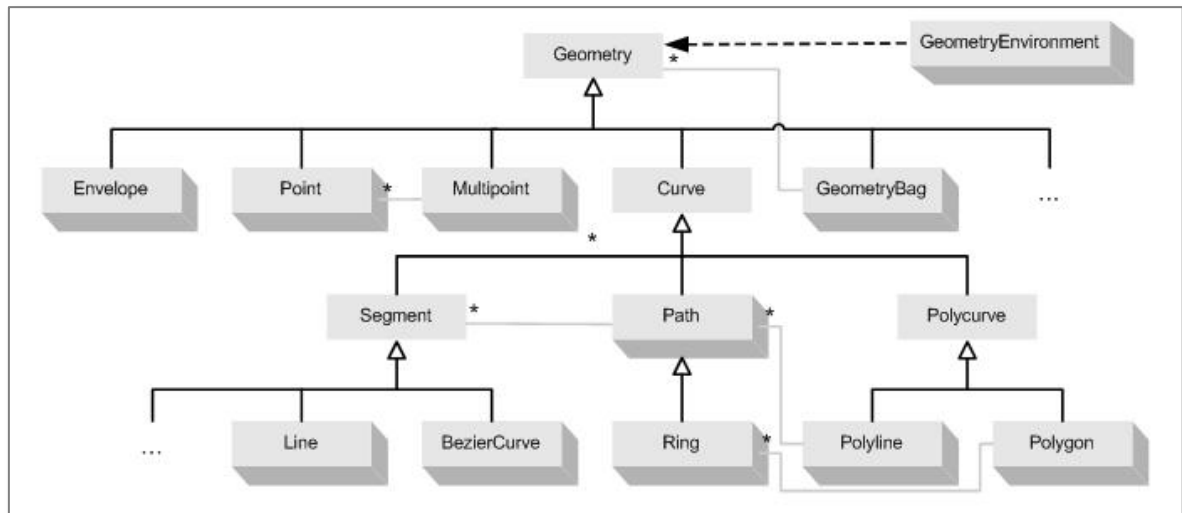


Abbildung 5.1 Ausschnitt aus dem Geometry-Objektmodell von ArcObjects

Ausgehend von Abbildung 5.1 lassen sich die oben genannten Eigenschaften des objektorientierten Ansatzes verdeutlichen. Die Klasse *Geometry* ist eine abstrakte Klasse. Aus ihr leiten sich beispielsweise die Klassen *Point* und *Multipoint* oder die abstrakte Klasse *Curve* ab. *Geometry* vererbt allen abgeleiteten Klassen seine Attribute (Bsp. *Dimension*) und Methoden (Bsp. *GeoNormalize*). So sind *Dimension* und *GeoNormalize* ebenso Bestandteil der Klassen *Point*, *Multipoint* und *Curve*. Die Klassen *Multipoint* und *Point* wiederum werden miteinander assoziiert. Ein Objekt der Klasse *Multipoint* kann unendlich viele Objekte von *Point* beinhalten. Anders verhält es sich mit der Klasse *GeometryEnvironment*. Sie ist stattdessen in der Lage ein Objekt der Klasse *Geometry* zu instanzieren, also über eine Methode ein *Geometry*-Objekt zu erstellen.

Eine weitere wichtige Komponente des objektorientierten Konzeptes ist die Datenkapselung. Das heißt, ein Zugriff auf die innere Datenstruktur des Objektes ist nur intern für die Methoden des Objektes möglich. Ein Zugriff von außen kann deshalb nur über die Methoden eines Objektes als Schnittstelle erfolgen.

Die Klassen sind in Interfaces unterteilt. Interfaces lassen sich als eine logische Gruppierung von Eigenschaften und Methoden einer Klasse verstehen. Damit entsprechen sie dem Component Object Model (COM), einem von Microsoft entwickelten Programmiersstandard. Der Vorteil des COM liegt in der Unabhängigkeit von Plattform und Programmiersprache. Ganz gleich, mit welcher Sprache die Klassen erstellt wurden, können sie in jeder COM-fähigen Programmiersprache, wie C++, VBA, VB.Net, Python usw., verwendet

werden. Die Interfaces sind als Bibliotheken in Form von COM-Komponenten organisiert. Dies ermöglicht es, aufbauend auf den Bibliotheken und Klassen eigene Applikationen zu programmieren. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eigene COM-Komponenten zu entwickeln und beispielsweise ArcObjects zu erweitern. Gewöhnlicherweise stand bislang für die eigene Weiterentwicklung Visual Basic for Application (VBA) als Programmierumgebung in ArcGIS zur Verfügung. Dies entfällt mit ArcGIS 10. Wie bereits oben beschrieben kann für die Weiterentwicklung auch jede andere COM-kompatible Sprache verwendet werden. Um zukünftig die Nutzbarkeit der Generalisierungsapplikation ohne die VBA-Umgebung in ArcGIS gewährleisten zu können, wird diese in Visual Basic geschrieben und losgelöst von ArcGIS als eigenständiges Programm umgesetzt.

5.2 ArcObjects und FMEObjects

Im vorangegangenen Kapitel 5.1 wurde bereits auf ArcObjects, dessen Aufbau und COM-Konformität eingegangen. Insgesamt stehen mehr als 3.400 Klassen mit über 21.000 Eigenschaften und Methoden in über 70 Bibliotheken zur Verfügung. Die Zahlen belegen, dass ArcGIS eine Vielzahl an Werkzeugen und Funktionalitäten im Bereich der Kartenherstellung, der Raumanalyse, des Datenmanagements und Geoprocessings bietet. Dennoch zeigt die Tabelle 2.2 (Kapitel 2.5.7) Defizite von ArcGIS im Bereich verschiedener Generalisierungsoperatoren, insbesondere der Verdrängung und des Geometrietypwechsels, auf. FME hingegen bietet Lösungen auch im Bereich dieser Defizite. Es liegt demnach nahe, die implementierten Funktionen in FME für die Generalisierung zu nutzen. FME (Feature Manipulation Engine) der Firma Safe Software begann einst als Geodatenkonvertierungsprogramm. Inzwischen ist es ein leistungstarker und schneller Geodatenprozessor (ESRI DEUTSCHLAND (2010)). Wie in ArcGIS bietet FME über FMEObjects COM-konforme Klassen zur eigenständigen Weiterentwicklung an. FMEObjects ermöglicht dabei Datenkonvertierungen von über 250 Datenformaten, unter anderem ESRI-typische Formate, und bietet zudem Zugang zu mehr als 100 Datenverarbeitungsfunktionen (SAFE SOFTWARE (2010)). FMEObjects beinhaltet 17 Objektklassen, zusammengefasst in einer Bibliothek. Dabei sind die grundlegenden Objektklassen FMEOSession, FMEOFeature, FMEOReader, FMEOWriter und FMEOPipeline. FMEOSession ist die Basis eines Prozesses. Alle anderen Objekte werden durch das FMEOSession-Objekt erstellt. FMEOReader und FMEOWriter

ermöglichen das Lesen bzw. Schreiben entsprechend der datenspezifischen Schemata. Über FMEOFeature ist ein Zugriff auf Datensätze und deren Attribute und Geometrien gegeben. FMEOPipeline hingegen ermöglicht die Zugriffe auf Datenverarbeitungsfunktionen von FME.

5.3 Programmaufbau

5.3.1 Oberflächengestaltung

Die Gestaltung der Programmoberfläche von GenX (Generalisierung 2010) basiert auf einem Formular. Dieses Formular ist in Groupboxen untergliedert. Über eine Menüleiste kann der Nutzer zwischen verschiedenen Programmoptionen wählen. Je nach seiner Wahl wird eine Groupbox mit entsprechenden Steuerelementen sichtbar. So wird beispielsweise unter ‚Generalisierung‘ > ‚Generalisierung starten‘ die Groupbox mit den Steuerelementen zur Generalisierung aktiviert (siehe Abbildung 5.2). Diese enthält Radiobuttons zur Auswahl der Ausgangsdaten, eine Combobox zur Auswahl des Zielmaßstabes und Textboxen zur Eingabe der Nutzernamen und Passwörter für die Serverzugänge. Die Generalisierung lässt sich über einen Start-Button ausführen. Dabei verschwindet die erste Groupbox und eine weitere wird sichtbar. Diese enthält zwei Progressbars, die den aktuellen Prozess- und Gesamtfortschritt wiedergeben. Zusätzliche Labels verdeutlichen diese Fortschritte. Über einen Cancel-Button kann der Generalisierungsablauf vorzeitig abgebrochen und damit beendet werden. Das Programm wechselt dann auf die Groupbox zum Generalisierungsstart. Der Nutzer kann in der Menüleiste unter ‚Parameter überarbeiten‘ weitere Groupboxen aktivieren. Diese enthalten DataGridViews, die es ermöglichen, auf die Parameterdatenbank zuzugreifen und Parameter neu zu definieren. Ein Button zur Speicherung der Daten ist ebenso vorhanden.

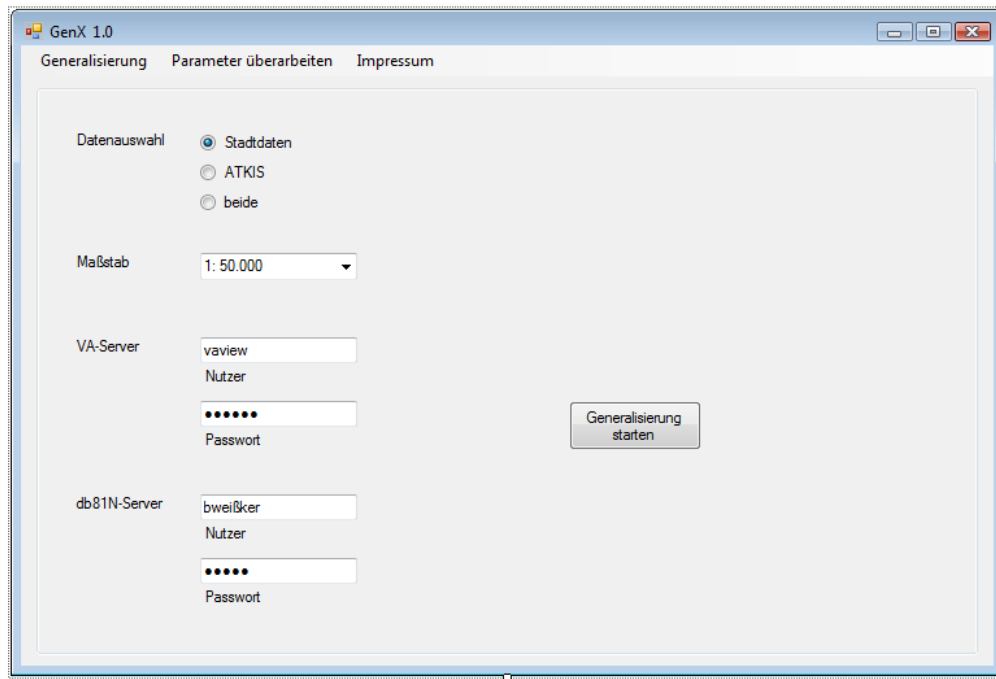


Abbildung 5.2 Programmoberfläche

Die Oberflächengestaltung fand in Absprache mit den Mitarbeitern des Vermessungsamtes statt, um eine hohe Nutzerfreundlichkeit zu gewähren.

5.3.2 Module

Die Generalisierungsapplikation ist in Module untergliedert (siehe Abbildung 5.3). Das Modul GenX enthält Prozeduren zur Steuerung der Elemente des Formulars GenX. Die Module ArcObj und FMEObj enthalten Funktionen und Prozeduren, auf denen die Generalisierung beruht. Die Prozeduren von ArcObj sind auf Interfaces von ArcObjects aufgebaut. FMEObj-Prozeduren hingegen basieren vorwiegend auf Interfaces von FMEObjects. Das Modul Reshape enthält die Funktion ReshapePolygon, die der Flächenneuaufteilung nach einem Geometrietypwechsel dient. Das Modul Pipeline beinhaltet die Prozedur ApplyPipeline. Sie dient zum Einlesen von FME-Factories. Die Factories werden über Konfigurationsanweisungen gesteuert. Diese sind im Modul Factories hinterlegt und als Funktionen definiert. Sie geben die jeweilige Konfiguration in einer Zeichenkette zurück, die in ApplyPipeline verarbeitet wird.

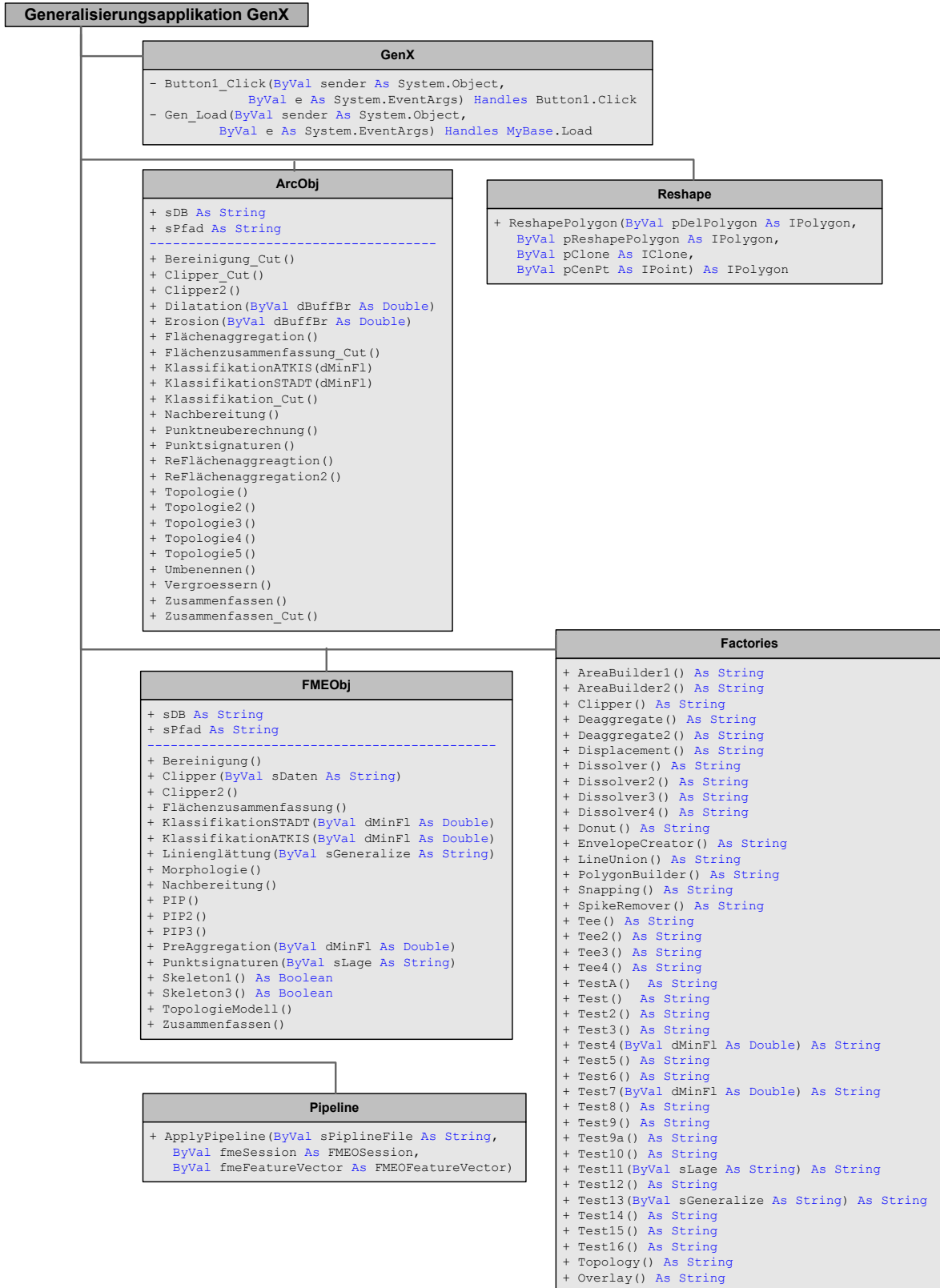


Abbildung 5.3 Übersicht über die Programmmodule

5.3.3 Prozeduren

Die nähere Beschreibung der einzelnen Prozeduren beschränkt sich auf die wesentlichen Prozeduren, die während der Generalisierung benötigt werden. Wie bereits erwähnt, dienen die Funktionen im Modul Factories nur der Konfiguration der Factories von FME. Auf sie wird nicht näher eingegangen. Stattdessen wird auf die Dokumentation der Functions und Factories von FME (FME (2010a)) verwiesen, aus der sich die jeweilige Syntax ergibt. Auch auf die Betrachtung der Funktion ApplyPipeline in Pipeline sei verzichtet. Nähere Informationen zu ihr sind in der Dokumentation „Building Applications with FME Objects“ (FME (2005)) zu finden.

5.3.3.1 Button1_Click

Die Prozedur Button1_Click dient zum Ausführen des Generalisierungsprozesses. Sie ist die Hauptprozedur, aus der alle weiteren Funktionen und Subroutinen für den Generalisierungsprozess aufgerufen werden. Die Abbildung 5.4 zeigt das Flussdiagramm zu dieser Prozedur.

Entsprechend der Nutzereingabe wird der Maßstab in sMass und die Umgebung in sDaten gespeichert. Sollen sowohl Stadt- als auch Umlandsdaten generalisiert werden, so wird der Prozess zweimal durchlaufen, beginnend mit den Stadtdaten. Auf Basis der oben genannten Variablen lassen sich aus der Tabelle „Parameter“ der Parameterdatenbank die Prozessvariablen dMinFl (Mindestfläche), dBuffBr (Pufferbreite) und sGeneralize (Glättungsalgorithmus und -parameter) entnehmen. Die Variablen sDaten und sMass bilden darüber hinaus eine Zeichenkette, die den Namen der abgeleiteten Datenbank bildet. Existiert eine gleichnamige Datenbank im angegebenen Verzeichnis, erfolgt eine Abfrage, ob die Datenbank überschrieben werden kann. Ist dies nicht der Fall, wird der Generalisierungsprozess abgebrochen. Andernfalls werden die Generalisierungsprozeduren, wie in Abbildung 5.4 zu sehen, aufgerufen. Prozeduren, die mit _Cut gekennzeichnet sind, dienen dem nachträglichen Splitten der Flächen an den Straßendaten. Dies erfolgt über das ArcObejcts-Interface IFeatureConstruction und dessen Methode SplitPolygonsWithLinesFromCursor. Die Topologie-Prozeduren dienen der Datenharmonisierung. Durchgeführt wird diese über das Interface ITopology und die Methode ValidateTopology.

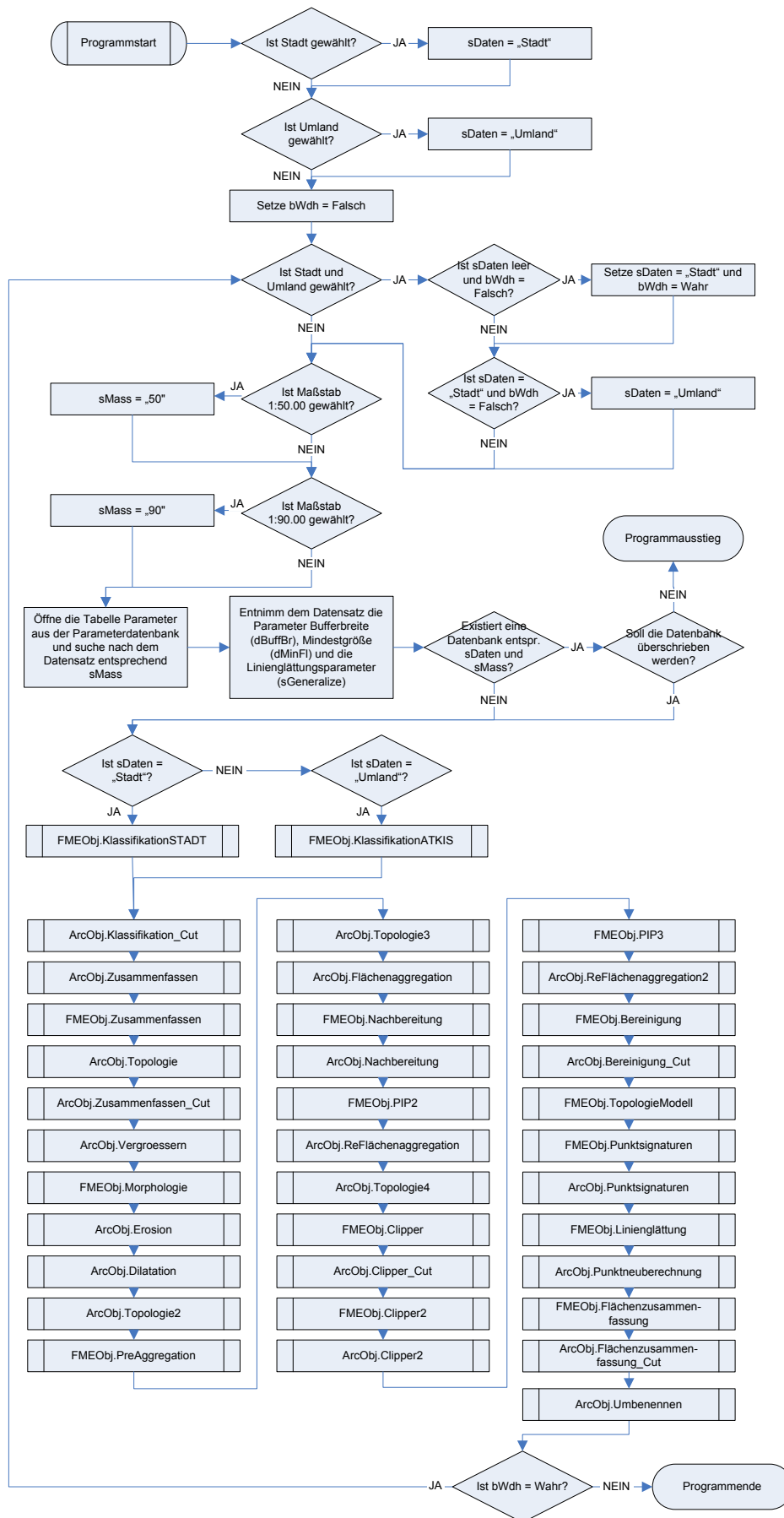


Abbildung 5.4 Flussdiagramm der Prozedur Button1_Click

Die benötigten Featureclasses müssen dafür in ein Geodataset überführt werden. Anschließend werden die harmonisierten Daten in ihre ursprünglichen Featureclasses zurück übertragen. Die Toleranz für die Datenangleichung liegt bei einem Meter.

5.3.3.2 Prozeduren des Modules FMEObj

Die Prozeduren des Modules FMEObj sind weitgehend gleich aufgebaut (siehe Abbildung 5.5). Sie unterscheiden sich in der Datenein- und -ausgabe sowie in den Konfigurationen des Readers, des Writers und der Factories. Aus diesem Grund wird nur das Grundgerüst exemplarisch beschrieben. Weitere Informationen hierzu liefert (FME (2005)). Die nachfolgende Dokumentation über die Prozeduren des FMEObj-Moduls beschränken sich nur auf die Datensätze, die ein- und ausgelesen werden, deren Datenstruktur und die Factories. Der individuelle Aufbau der Prozeduren, falls nicht genauer beschrieben, entspricht im Allgemeinen dem Grundgerüst.

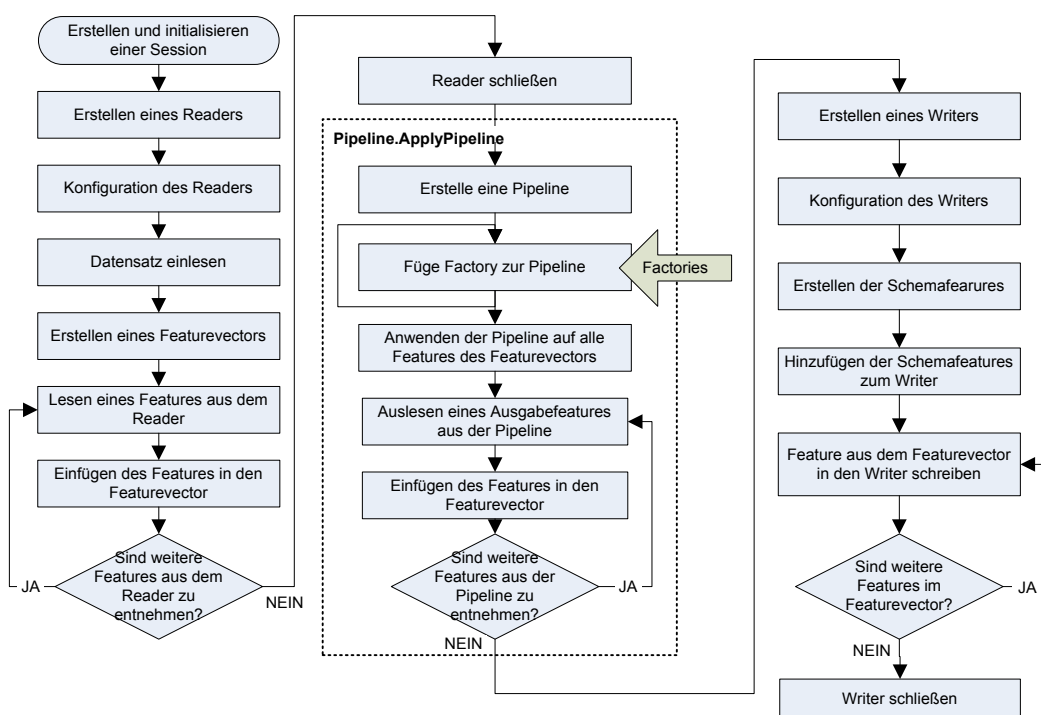


Abbildung 5.5 Allgemeines Flussdiagramm der Prozeduren von FMEObj

Für den Reader und den Writer sind formatspezifische Konfigurationen vorzunehmen (Vergleich FME (2010b)). Zum Lesen beispielsweise von Datensätzen aus der ArcSDE muss ein GEODATABASE_SDE-Reader oder SDE30-Reader erstellt werden. Zu konfigurieren sind

zudem das Dataset, der Server, der Nutzer, das Passwort, die Instanz, die Version und natürlich die Featureclass(es) über IDs. Die Pipeline dient zur Durchführung der Prozesse basierend auf den FME-Factories. Zum Auslesen der prozessierten Daten muss ähnlich dem Reader ein Writer konfiguriert werden. Zudem sind Schemafeatures, welche die Tabellen- und Datenstruktur wiedergeben, zu definieren und dem Writer zuzuführen.

5.3.3.3 Klassifikationsprozeduren

Die Klassifikation findet getrennt für die ATKIS- und Stadtdaten statt. Dementsprechend sind zwei Prozeduren in FMEObj hierfür definiert. Für die KlassifikationSTADT werden von der SDE VA.ESKN_L, VA.ESKN_BRTUN_L_V und UA.EBK_BRUTTO über den Reader eingelesen und in die Featureclasses ESKN, ESKN_BRTUN_L_V und VB_New umgeschrieben. Für die Selektion der ESKN-Daten wird die STRAGIS-Tabelle des Straßenbauamtes benötigt und zuvor als eigenständige Tabelle aus der Oracle-Datenbank entnommen. Die neu erstellte STRAGIS-Tabelle beschränkt sich ausschließlich auf die Attribute STA_ID und S_KL. Alle Einträge, die unter S_KL als Sammelstraße (SA) oder Hauptsammelstraße (HS) definiert sind, werden in die neue Tabelle übernommen. Die nun enthaltenen Datensätze verweisen über STA_ID auf übrige Straßen, die erhalten bleiben sollen. Nach der Ableitung der Featureclasses werden aus den ESKN-Daten alle Straßenfeatures mit WDM = ,U' selektiert und geprüft, ob ein entsprechender Verweis in der STRAGIS-Tabelle vorliegt. Ist dies der Fall, so bleibt das Feature erhalten. Andernfalls wird es aus der Featureclass gelöscht.

Bei KlassifikationATKIS werden stattdessen VA.ATK_LINIEN und VA.ATK_FLAECHEN aufgerufen. Diese werden ebenso in ESKN, ESKN_BRTUN_L_V und VB_New überführt. Zeitgleich findet auf Grundlage der Tabellen StadtF bzw. StadtL oder UmlandF bzw. UmlandL der Parameterdatenbank die Klassifikation statt. Der Aufbau der oben geschriebenen Prozeduren ändert sich beim Einlesen der Features in den Featurevector in Folge dessen. Die Abbildungen 5.6 und 5.8 zeigen die Änderung für KlassifikationSTADT bzw. KlassifikationATKIS.

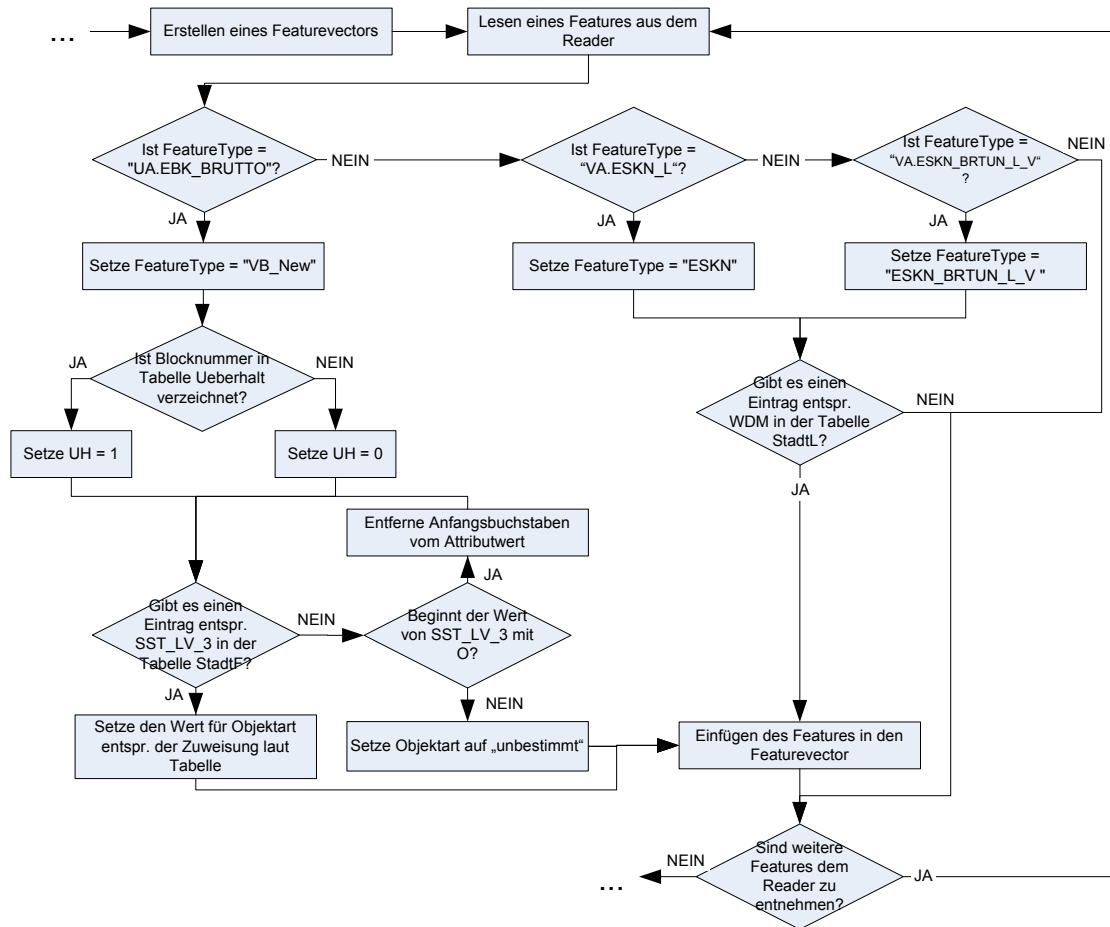


Abbildung 5.6 Flussdiagramm zur Klassifizierung der Stadtdaten

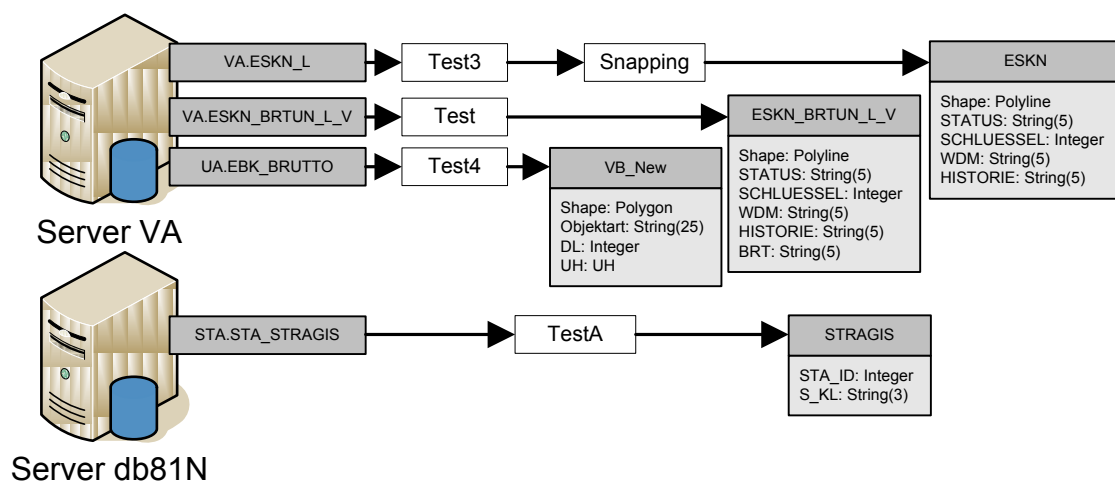


Abbildung 5.7 Datenableitung in FME.KlassifikationSTADT

Beginnt der Wert in SST_LV_3 eines Objektes der UA.EBK_BRUTTO mit ,O' (Baustelle), so muss der Anfangsbuchstabe entfernt werden, um die spätere Nutzung der Fläche zu be-

stimmen. Eine Objektartzuweisung erfolgt dann entsprechend der Tabelle StadtF. Unbestimmte Flächen werden mit ‚unbestimmt‘ gekennzeichnet. Features deren Attributwerte BLOCKNR in der Ueberhalt-Tabelle verzeichnet sind, erhalten den UH-Attributwert 1. Im Anschluss werden über Factories die ESKN-Daten im Maßstab 1:25.000 selektiert. Darüber hinaus bekommen alle Flächen, welche die Mindestgröße nicht erreichen, und alle unbestimmten Flächen den DL-Attributwert 1 zugewiesen. Dies gilt auch für die ATKIS-Flächen.

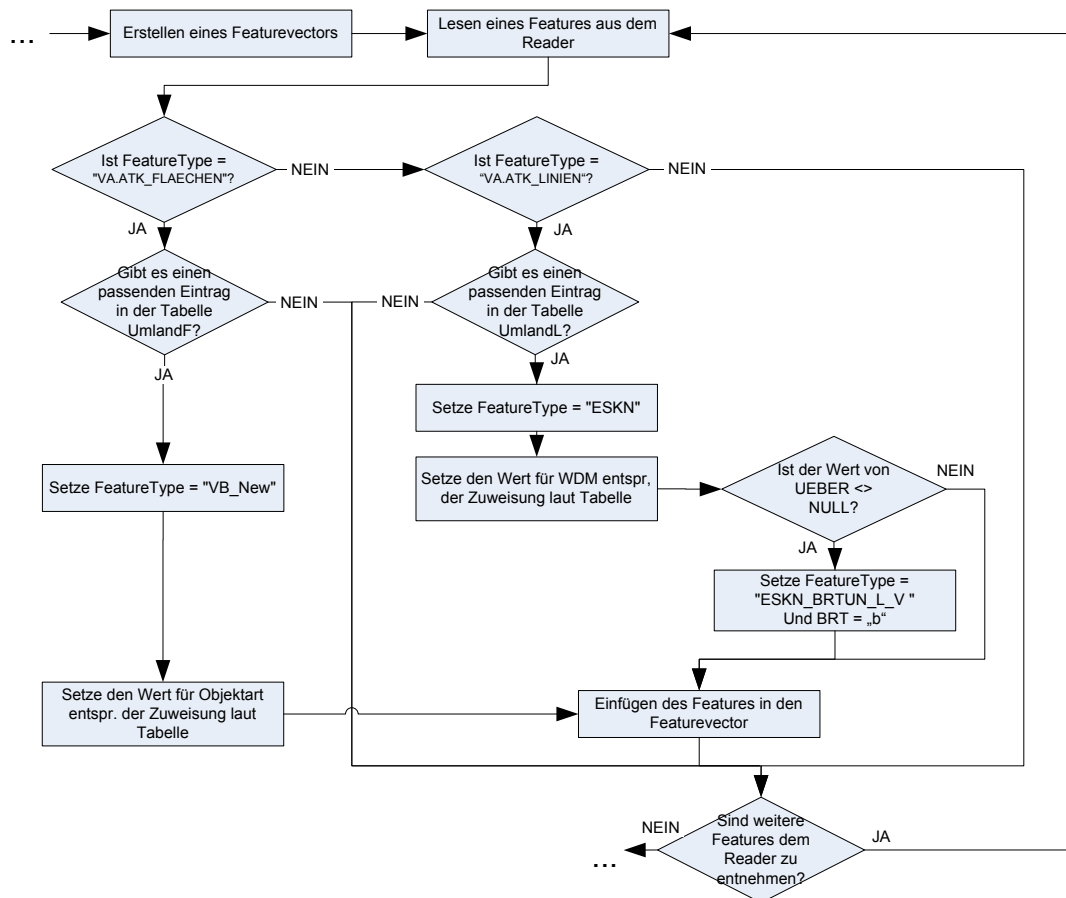


Abbildung 5.8 Flussdiagramm zur Klassifizierung der ATKIS-Daten

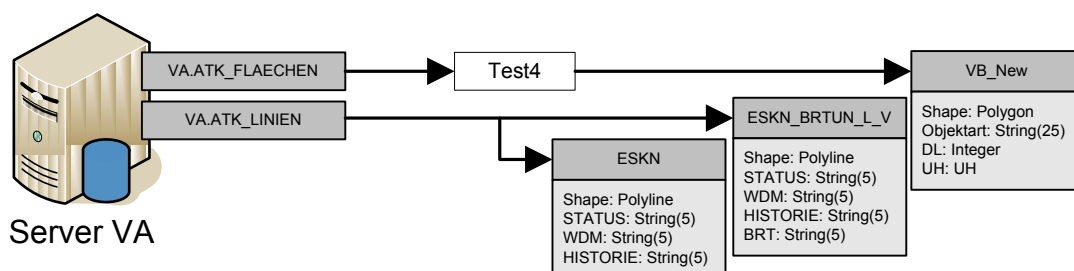


Abbildung 5.9 Datenableitung in FME.KlassifikationATKIS

Sowohl die ATKIS- als auch die Stadtdaten sind nach der Klassifikation gleich strukturiert. Für die weiteren Generalisierungsschritte muss demzufolge keine Unterteilung stattfinden. Eine anschließende Harmonisierung der klassifizierten Daten ist notwendig, um die nachfolgende Flächenteilung an den Straßendaten vornehmen zu können.

5.3.3.4 Zusammenfassungsverfahren

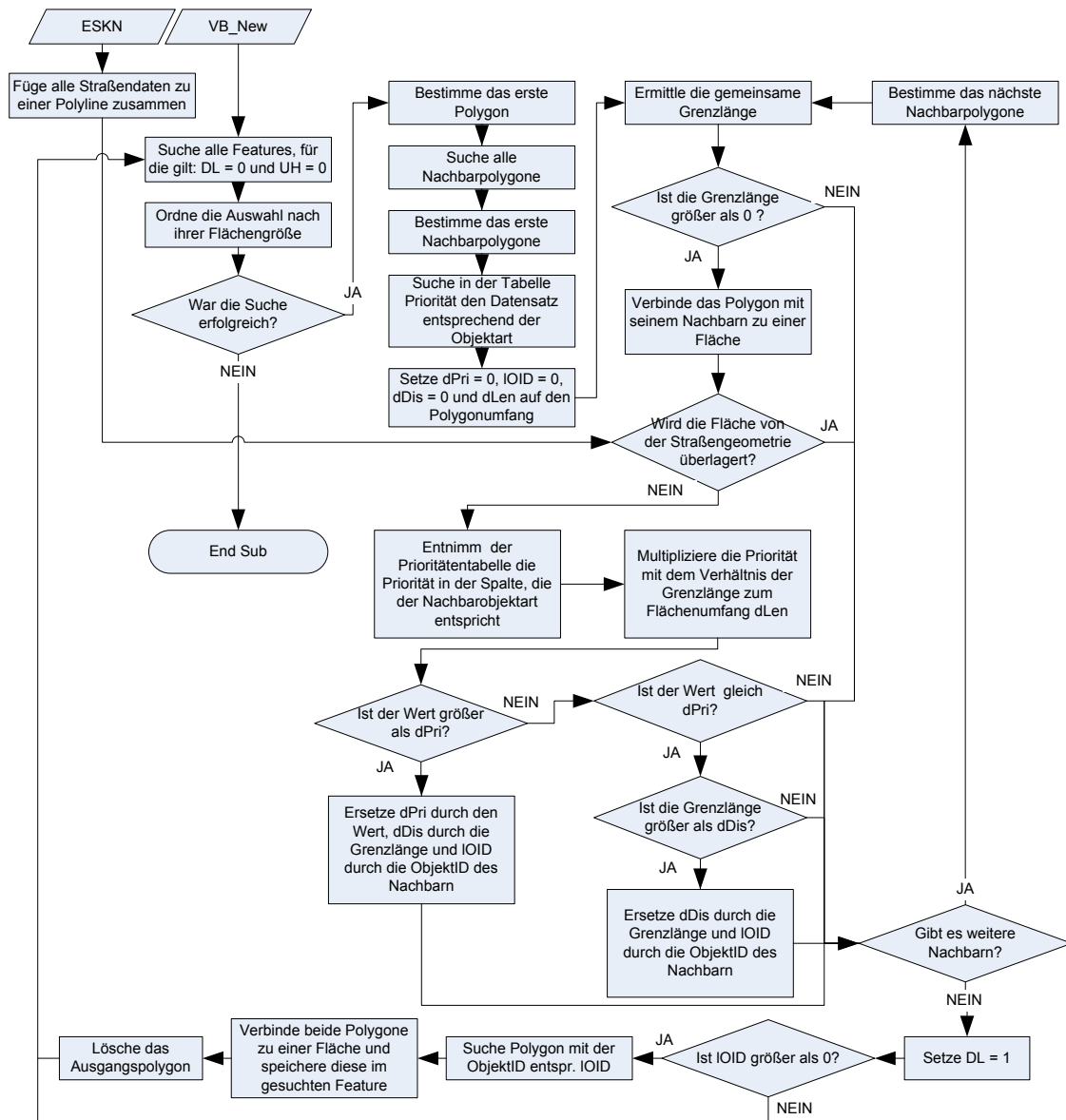


Abbildung 5.10 Flussdiagramm zum Zusammenfassen benachbarter Flächen

Zu Beginn werden alle Straßendaten zu einer Geometrie zusammengefasst. Dies erleichtert die spätere räumliche Analyse der Flächen mit den Straßendaten. Des Weiteren wer-

den alle Flächenobjekte aus VB_New, welche die Mindestgröße unterschreiten ($DL = 0$) und nicht vergrößert werden sollen ($UH = 0$), gesucht. Die ausgewählten Features werden ihrer Flächengröße nach geordnet, beginnend mit der kleinsten. Es werden alle ihre benachbarten Flächen ermittelt und einzeln mit ihnen zu einer Fläche verbunden. Dabei wird geprüft, ob diese Fläche von der Straßengeometrie überlagert wird. Auf diese Weise lässt sich ein Zusammenfassen über Straßen hinweg verhindern. Anschließend wird die gemeinsame Grenzlinie und ihre Klassenverwandtschaft laut Prioritätentabelle bestimmt. Ist das Produkt aus dem Prioritätswert und der relativen Grenzlänge größer als die vorhergehenden Nachbarflächen, so werden ihre Grenzlänge, Priorität und Objekt-ID registriert. Die Ausgangsfläche wird mit der Fläche des Nachbarfeatures, dessen OID am Ende gespeichert ist, vereinigt. Das Ausgangsfeature wird anschließend gelöscht. Wurde kein entsprechender Nachbar gefunden, beispielsweise wenn die Fläche ausschließlich an Straßen grenzt, bleibt es erhalten. Der DL-Wert muss dann auf 1 gesetzt werden, um das Feature vom nächsten Durchlauf auszuschließen.

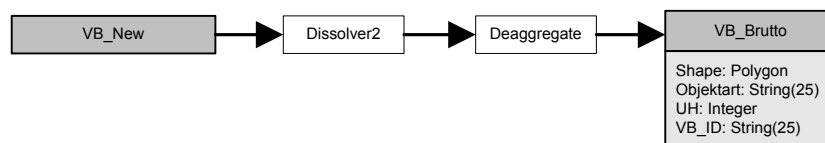


Abbildung 5.11 Datenableitung in FMEObj.Zusammenfassen

In FMEObj.Zusammenfassen werden benachbarte Polygone gleicher Objektart über die Factory Dissolve zusammengefasst. Anschließend ist ein Clippen der Polygone an den Straßen unumgänglich, da sich der Dissolve-Prozess über Straßen hinweg vollzieht. Eine vorhergehende Harmonisierung der Straßen- und Flächendaten ist auch hier notwendig.

5.3.3.5 Vergrößerungsprozedur

Die Vergrößerung findet für alle Features aus VB_Brutto statt, die als UH-Attributwert 0 besitzen. Dies entspricht einem Eintrag in der Überhaltungstabelle (siehe Kapitel 5.4). Von diesen Features werden die medialen Achsen über die Funktion Skeleton1 bestimmt. Die Mediale Achse eines jeden Features wird entsprechend der halben Mindestbreite gepuffert und die erzeugte Fläche mit der Ausgangsfläche vereinigt. Die Fläche entspricht nun

in allen Bereichen der Mindestbreite. Diese Fläche wird von allen angrenzenden Flächen subtrahiert. Grenzen zwei zu vergrößernde Flächen aneinander, so kann nur die Fläche der zweiten Fläche in vollem Umfang erhalten bleiben. Die überlagernde Fläche der zweiten wird auch von der ersten Fläche abgezogen.

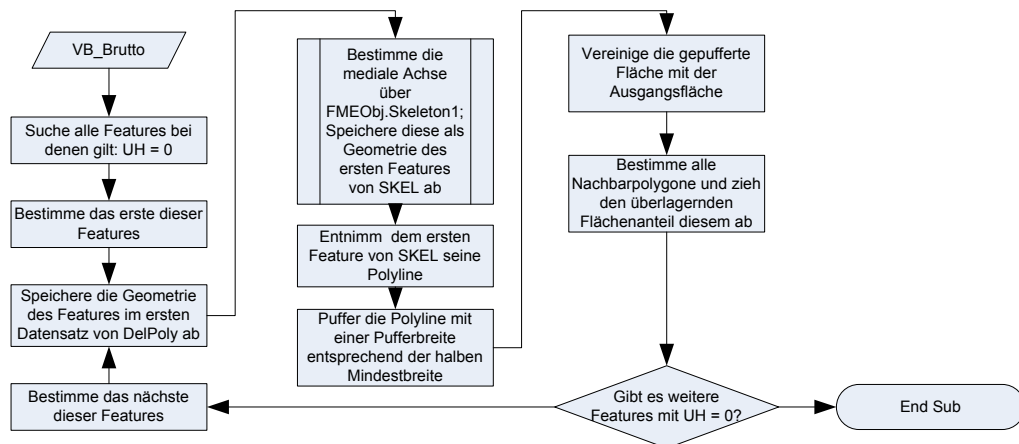


Abbildung 5.12 Flussdiagramm zur Vergrößerung von Flächen

Da zu vergrößernde Flächen über ihre Blocknummer bestimmt werden, kann eine Vergrößerung nur für Flächenobjekte im Stadtgebiet erfolgen.

5.3.3.6 Morphologieprozeduren

Die morphologischen Prozeduren dienen der Strukturerkennung als Vorstufe zum Geometrietypwechsel. Der Geometrietypwechsel soll nur auf Objektbereiche angewendet werden, welche die Mindestbreite unterlaufen. Die Morphologieprozeduren teilen die Polygone in Flächen, welche die Mindestbreite erreichen, und in solche, die dies nicht tun.

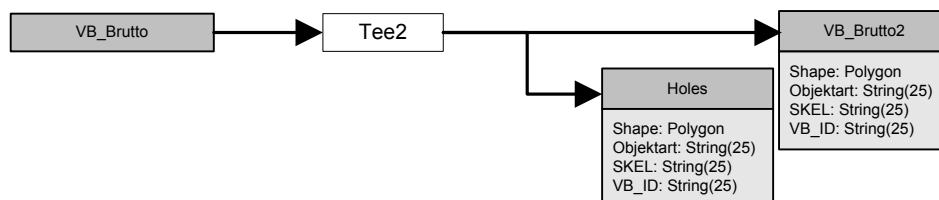


Abbildung 5.13 Datenableitung in FMEObj.Morphologie

Die Prozedur Morphologie dient der Ableitung der Featuresclasses Holes und VB_Brutto2 aus VB_Brutto. Während des Kopierens der Features in die neuen Featureclasses wird

jeweils der Wert SKEL auf ,1' gesetzt. Die Objekt-ID des Ausgangsfeatures aus VB_Brutto wird in VB_ID der abgeleiteten Datensätze festgehalten.

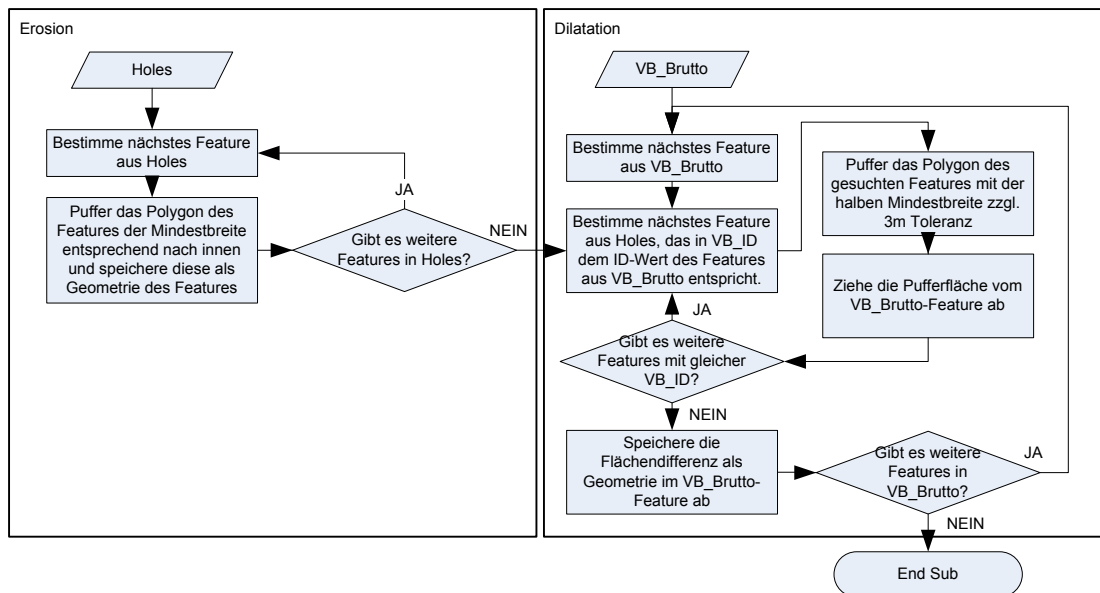


Abbildung 5.14 Flussdiagramm für die Erosion und Dilatation

In der Prozedur Erosion werden die Polygone aller Features entsprechend der Mindestbreite nach innen gepuffert. Die gepufferten Geometrien ersetzen hierbei die ursprünglichen. In der Dilatationsprozedur werden diese erneut aufgerufen. Sie werden dann erneut gepuffert, dieses Mal nach außen zuzüglich einer Toleranz von 3 m. Stimmt der Wert in VB_ID des zugehörigen Features mit der Objekt-ID eines aufgerufenen Features aus VB_Brutto überein, so wird von der Fläche des VB_Brutto-Features die gepufferte Fläche abgezogen. Dies geschieht für alle Features in VB_Brutto. Am Ende bleiben in VB_Brutto zwar alle Features erhalten, deren Polygone jedoch sind die Flächen, in denen die Mindestbreite unterlaufen wird. Eine nachfolgende Datenharmonisierung der Polygongrenzen von VB_Brutto und VB_Brutto2 sowie den Straßendaten ist notwendig.

5.3.3.7 Geometrietypwechsel- und Flächenaggregationsprozeduren

Wie zuvor beschrieben, darf ein Geometrietypwechsel und die anschließende Flächenaufteilung und -aggregation nicht über Straßen und die Stadtgrenze hinweg geschehen. Dies erscheint zunächst schwierig in der Umsetzung. Es ist sinnvoll, den Geometrietypwechsel und die Flächenaggregation ohne Berücksichtigung der Straßen oder der Stadtgrenze

durchzuführen und anschließend die fehlerhaften Flächen – also diejenigen, welche über die Straßen und Stadtgrenze hinausgingen – erneut aufzuteilen. Die Geometrietypwechsel- und Flächenaggregationsprozeduren lassen sich so in vier Prozessabschnitte gliedern: Prozessvorbereitung, Durchführung des Geometrietypwechsels und Flächenaufteilung entlang der Medialachse, Durchführung des Geometrietypwechsels und Flächenaufteilung entlang der Straßen, Durchführung des Geometrietypwechsels und Flächenaufteilung entlang der Stadtgrenze.

Die Prozessvorbereitungsprozedur überlagert die Flächenobjekte der VB_Brutto mit den Originalflächenobjekten aus VB_Brutto2. Dabei gilt eine Toleranz von einem Meter. Durch die Pufferung entstandene Abrundungen der Ecken müssen ebenso ausgeschlossen werden. Deshalb werden alle Flächen, die kleiner als 600 m² sind, nicht mit überlagert. Durch die Überlagerungen werden die Teilflächen in eigenständige Features zerlegt. Alle Features, die keinem Geometrietypwechsel unterzogen werden sollen, erhalten den SKEL-Attributwert 0, alle anderen 1. Zudem erhalten alle Features mit einer Fläche unterhalb der Mindestflächengröße den SKEL-Wert 1. Diese Flächen werden ebenso einem Geometrietypwechsel unterzogen. Eventuelle fehlerhafte Überlagerungen werden über den Spikeremover³ und dem Ausschluss von Features, deren Fläche unter 1 m² liegt, behoben. Die nach der Überlagerung entstandenen Objekte liegen in VB_Brutto_CI vor.

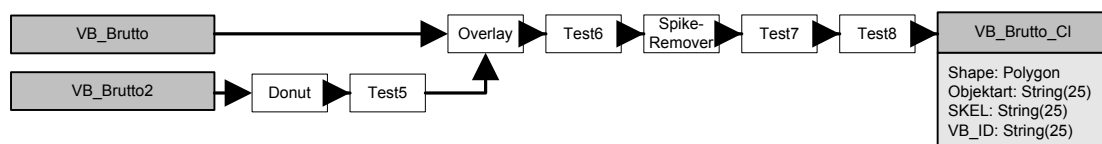


Abbildung 5.15 Datenableitung in FMEObj. PreAggregation

Im Anschluss erfolgt erneut eine Datenharmonisierung der Featureclass mit den Straßendaten in ESKN. Ist dies erfolgt, wird durch die Prozedur FMEObj.PIP eine Punkt-Featureclass PtRef erstellt. Diese enthält jeweils einen willkürlich bestimmten Punkt innerhalb eines jeden Flächenobjektes aus VB_Brutto_CI. Zur Identifikation des korrespondierenden Punktes zu einer Fläche werden dem Punktfeature in „Ref_Id“ die Objekt-ID

³ Der Spikeremover bereinigt die Geometrie eines Features durch Entfernen von spitzwinkligen Geometrieausreißern. Wird ein bestimmter Winkel, der durch drei benachbarte Stützpunkte gebildet wird, unterschritten, so wird der mittlere Stützpunkt entfernt.

der entsprechenden Fläche zugewiesen. Zusätzlich wird die Objektart des Flächenfeatures auf das Punktfeature übertragen (siehe Abbildung 5.16). Eine Zuordnung der Flächen kann so über die Punkte erfolgen.

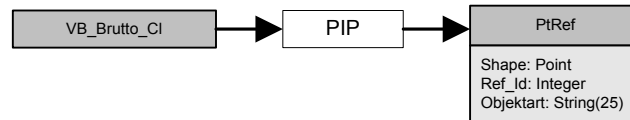


Abbildung 5.16 Datenableitung von Point-in-Polygon

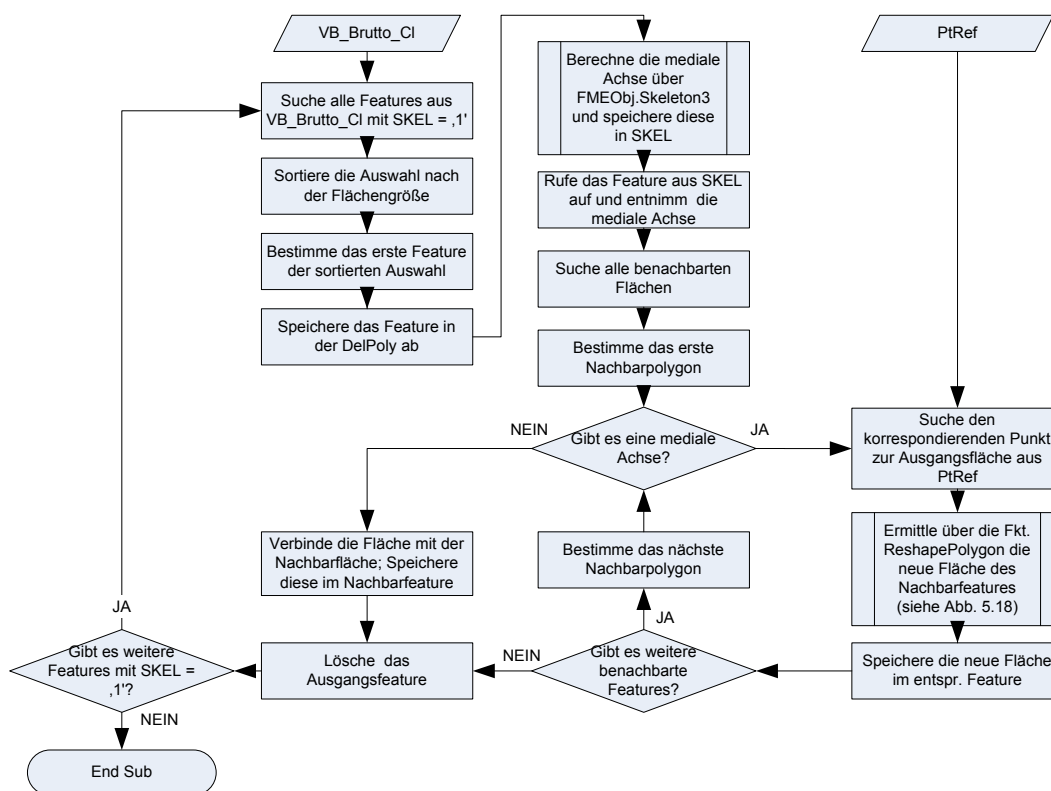


Abbildung 5.17 Flussdiagramm zum Geometriewechsel

Wie zuvor erwähnt, erfolgt der Geometriewechsel für alle Features aus VB_Brutto_CI mit dem Attributwert '1' unter SKEL. Diese Features werden nach ihrer Flächengröße geordnet, beginnend mit der kleinsten. Von dieser Fläche wird die mediale Achse über die Funktion Skeleton3 aus FMEObj ermittelt. Ebenso werden alle Nachbarfeatures bestimmt. Lässt sich keine mediale Achse berechnen – insbesondere dann, wenn die Flächen zu klein sind – wird die Ausgangsfläche mit der erstgefundenen Nachbarfläche vereinigt und die neue Fläche als Geometrie dem Nachbarfeature übertragen. Im anderen Fall, wenn eine

mediale Achse existiert, wird nach dem korrespondierenden Punktfeature in PtRef gesucht. Dabei wird jedes einzelne Nachbarfeature aufgerufen. Die mediale Achse, das Ausgangspolygon, die jeweilige Nachbarfläche und der Referenzpunkt werden an die Funktion ReshapePolygon aus dem Modul Reshape übergeben (siehe Abbildung 5.18).

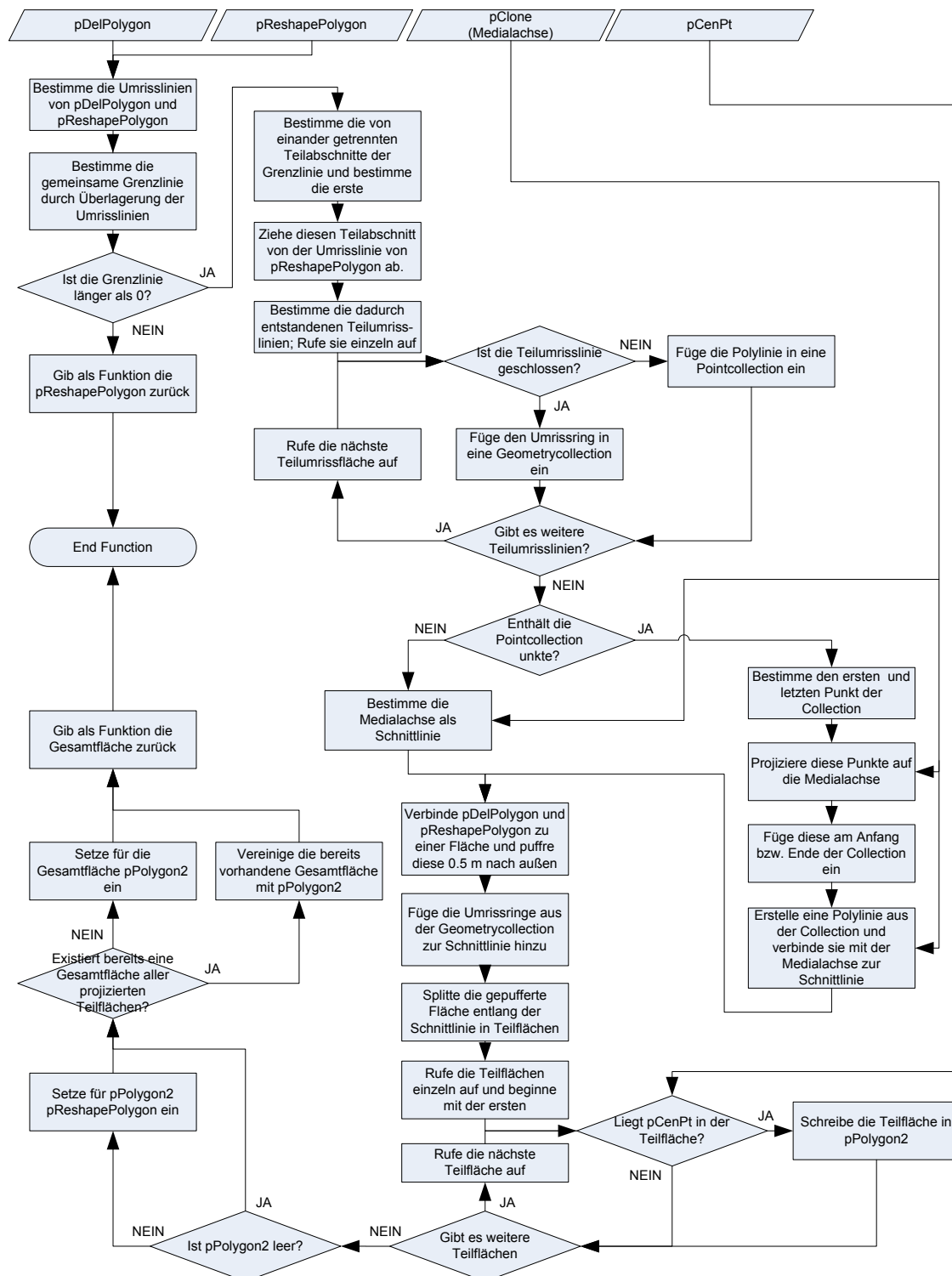


Abbildung 5.18 Flussdiagramm der Funktion ReshapePolygon aus Reshape

Die Funktion liefert das Neuberechnete Nachbarpolygon, welches auf die mediale Achse erweitert wurde, zurück. Dieses Polygon wird im entsprechenden Feature gespeichert. Ist dieses für alle benachbarten Features geschehen, wird das Ausgangsfeature aus der Featureclass gelöscht.

Die Funktion ReshapePolygon dient zur Neubestimmung der Nachbarpolygone nach dem Geometrietypwechsel. Vom dimensionswechselnden Polygon und einem seiner Nachbarpolygone wird die gemeinsame Grenzlinie ermittelt. Diese kann aus mehreren Abschnitten bestehen, wenn die beiden Flächen mehrfach aneinander treffen. Die Flächenprojektion muss von jedem dieser Grenzabschnitte einzeln erfolgen. Deshalb werden die Teilgrenzen nacheinander aufgerufen und von der Umrisslinie des zu erhaltenden Nachbarpolygons subtrahiert. Das Ergebnis ist eine offene Umrisslinie der Fläche, die an den beiden gemeinsamen Knotenpunkten endet. Unter Umständen kann es sich bei der Fläche um ein Donutpolygon⁴ handeln. In diesem Fall kann sich die Subtraktion nur auf einen Ring des Polygons beziehen. Um falschen Zuweisungen vorzubeugen, müssen geschlossene Ringe von der späteren Projektion ausgeschlossen werden. Der Anfangs- und der Endpunkt der übrigen Polyline, sprich die beiden Knotenpunkte, werden nun auf die mediale Achse projiziert. Die neuen Punkte auf der Medialachse werden nun an den Anfang bzw. an das Ende der Polyline hinzugefügt. Folglich endet die Polylinie fortan an der medialen Achse. Beide werden nun zu einer Schnittpolylinie verbunden. Gleichmaßen werden die beiden Flächen verbunden. Die neue Fläche wird um 0,5 m gepuffert und anschließend entlang der Schnittpolylinie in Teilflächen zerlegt. Da die benachbarte Fläche durch die Flächenaggregation und anschließende Teilung nur wächst, jedoch nicht schrumpfen kann, muss der mit ihr korrespondierende Punkt in einer der Teilflächen liegen. Diese muss erhalten bleiben. Sie ist Bestandteil der späteren Neuberechneten Nachbarfläche. Dieses Verfahren wird für alle weiteren Abschnitte der gemeinsamen Grenzlinie wiederholt. Die dadurch ermittelten Teilflächen werden im letzten Schritt zu einer gemeinsamen Fläche zusammengefasst. Diese entspricht der gesuchten projizierten Nachbarfläche auf die mediale Achse. In äußerst seltenen und ungünstigen Fällen kann bei der Projektion des Knotenpunktes auf die Medialachse die ursprüngliche Geometrie des Nachbarpolygons oder des zweiten an den Knotenpunkt grenzenden Nachbarpolygons beschnitten werden (siehe Abbildung 5.19). Fällt der Referenzpunkt dieser Fläche zufällig in diesen Bereich der

⁴ Donutpolygone sind ringförmige Polygone, die in ihrem Inneren mindestens eine leere Fläche besitzen.

Fläche, kann eine korrekte Flächenzuweisung nach der Flächensplittung nicht erfolgen. Diese kann jedoch durch spätere Prozessschritte ausgeglichen werden. Ansonsten muss eine nachträgliche Datenbereinigung manuell erfolgen.

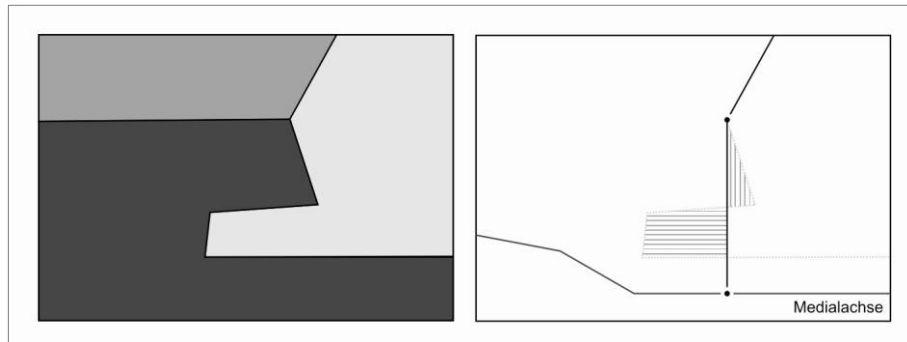


Abbildung 5.19 *Ungünstige Geometrieüberschneidung
(links: Ausgangssituation, rechts: Geometrieüberschneidung nach der Projektion)*

Sind alle Geometriewechsel und anschließenden Flächenneueinteilungen abgeschlossen, findet eine Nachbereitung der Daten statt. Die Flächen werden entlang der Straßendaten gecuttet. Dies führt dazu, dass Flächen, die über Straßen aggregiert wurden, in zwei oder mehrere Teilflächen zerlegt werden. Da, wie oben zuvor erwähnt, Flächen bei der Aggregation nur wachsen können, bleiben trotz des Cuttens alle ursprünglichen Flächen erhalten. In ihnen muss folglich der Referenzpunkt mit zugehöriger Ref_Id liegen. Ist dies nicht der Fall, handelt es sich um eine Teilfläche, die durch Aggregation über Straßen entstand. Sie erhalten den SKEL-Wert ,1', alle richtig zugeordneten Flächen hingegen ,0'.

Der beschriebene Geometrietywechsel- und Flächenaggregationsprozess läuft in ähnlicher Form erneut ab. Über die Prozedur PIP2 werden für neugenerierte Flächen Punkte in Polygonen willkürlich bestimmt und über die ID zur Fläche referenziert. Der in Abbildung 5.17 beschriebene Algorithmus findet auch in ReFlächenaggregation in abgewandelter Form Einzug. Anstelle der Bestimmung der medialen Achse, werden die an das Ausgangspolygon angrenzenden Straßenlinienobjekte ermittelt. Grenzt die Fläche an zwei unabhängige und somit sich nicht berührende Straßenabschnitte, wird von der Hälfte der einen Straßenlinie aus eine Gerade auf den Mittelpunkt der anderen projiziert. Diese H-ähnliche Linienstruktur ersetzt im Algorithmus die Medialachse. Die Knotenpunkte der Grenzlinien werden nun auf die Straßenlinien projiziert, ansonsten findet die Flächen-

aggregation bzw. Flächeneinteilung nach dem gleichen Prinzip statt. Auch hier können spezielle Probleme auftreten. Liegt ein Knotenpunkt bereits auf der Straße, kann unter Umständen der andere Knotenpunkt abseits der Straße so projiziert werden, dass dieser vor dem anderen auf der Straßenlinie liegt. Die Schnittlinie wird dadurch inkorrekt und die ursprüngliche Fläche minimiert sich statt zu wachsen. Liegt nun der Referenzpunkt außerhalb der Fläche, kann eine richtige Flächenzuweisung nicht erfolgen.

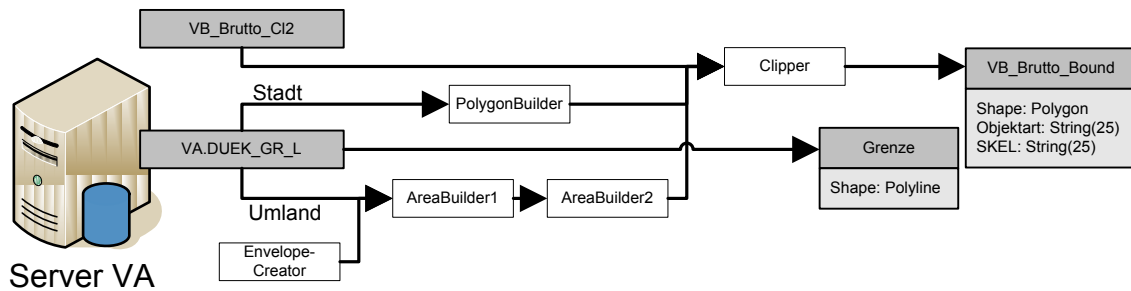


Abbildung 5.20 Datenableitung in FMEObj.Clipper

Die Flächenneueinteilung verhindert Lücken im Datenteppich, da alle angrenzenden Flächen berücksichtigt werden. Problematisch gestalten sich Geometrietypwechsel an der Stadtgrenze. Hier fehlen benachbarte Flächen abseits der Grenze und führen durch die vorhergehenden Prozesse zu Flächenlücken entlang der Grenze. Die Lücken werden dadurch gefüllt, dass die bis hierhin generalisierten Flächen an der Stadtfläche bzw. Umlandsfläche geclippt werden. Dies setzt eine Datenharmonisierung voraus. Die so entstandenen Flächen werden über FMEObj.Clipper in VB_Brutto_Bound gespeichert (siehe Abbildung 5.20) und im Anschluss am Straßennetz gecuttet. Die Prozedur FMEObj.Clipper2 zerlegt die Polygone in einzelne Polygone und Features (siehe Abbildung 5.21).



Abbildung 5.21 Datenableitung in FMEObj.Clipper2

Die geschlossenen Lücken müssen nun einer Objektart zugeordnet werden. Dies erfolgt über ArcObj.Clipper2. Die Referenzpunkte PtRef des ersten Durchlaufs werden mit diesen

Flächen überlagert. Jeder Fläche wird die Objektart zugeordnet, die dem ersten Referenzpunkt innerhalb der Fläche entspricht. Die Objektartzuordnung dient vorrangig den Flächenobjekten abseits der Stadtgrenze, die im Prozessverlauf durch diverse Umstände verloren gingen. Die Flächen hingegen, die an der Stadtgrenze liegen, behalten den SKEL-Wert ,1'. Sie entfallen im anschließenden Geometrietypwechseldurchlauf. Zuvor werden über PIP3 erneut Referenzpunkte der jetzigen Flächen generiert, die in der Funktion ReshapePolygon Verwendung finden. Als Projektionslinie für die Knotenpunkte dient nun die Stadtgrenze. Ist dieser Durchlauf abgeschlossen, so können durch einen Dissolver in FMEObj.Bereinigung Flächen gleicher Objektart gruppiert werden. Zuvor werden Features ohne Objektart als ,unbestimmt' klassifiziert. Durch den vorherigen Lückenschluss können ungewollte Minimalflächen zwischen benachbarten Flächen entstanden sein. Diese werden ebenso weitgehend in der Prozedur ausgeschlossen. Anschließend werden die gruppierten Flächen an den Straßendaten gecuttet.



Abbildung 5.22 Datenableitung in FMEObj.Bereinigung

5.3.3.8 Kantenmodellprozedur

Für den weiteren Generalisierungsablauf werden die Linien- und die Flächenobjekte in ein gemeinsames Kantenmodell überführt. Da in dem vorhergehenden Schritt stets auf eine Datenharmonisierung zwischen den Generalisierungsschritten geachtet wurde, fallen die Polygongrenzen mit den Straßendaten und der Stadtgrenze zusammen. Es ist deshalb sinnvoll, diese Grenzen in Kanten (sprich Polylinien zwischen den Knotenpunkten) zu überführen und ihnen als Attribut ihre Featureclass-Zugehörigkeit zuzuweisen. Dies geschieht über die Prozedur TopologieModell auf Basis der TopologyFactory von FME. Gleichzeitig wird eine Polygonfeatureclass abgeleitet, welche als Attribute die polygonbildenden Kanten in Form einer Zeichenkette sowie die jeweilige Objektart mitführt. Eine nachträgliche Selektion mehrfach erfasster Kanten ist unvermeidbar. Die Abbildung 5.23 zeigt die Modellgenerierung.

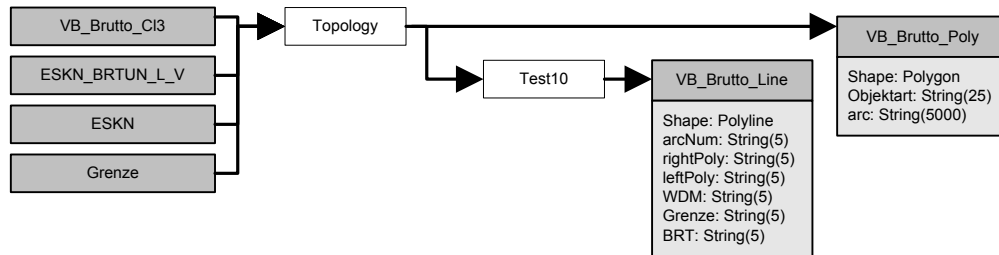


Abbildung 5.23 Datenableitung in FMEObj.TopologieModell

5.3.3.9 Punktsignaturenableitungsprozeduren

Die Punktdaten der Übersichtskarte in 1:25.000 liegen für das Umland und das Stadtgebiet in einer gemeinsamen Featureclass, VA.DUEK_SY_P. Über die Prozedur Punktsignaturen in FMEObj (Abbildung 5.24) wird diese vom Server geladen und die Daten entsprechend der Wahl des Nutzers für das Stadt bzw. Umland selektiert. Des Weiteren findet eine inhaltliche Auswahl (siehe Kapitel 4.3.1, Tabelle 4.5) der Daten statt. Gleichzeitig werden die Polygon-Features aus VA.DUEK_BHF_F auf den lokalen Rechner übertragen.

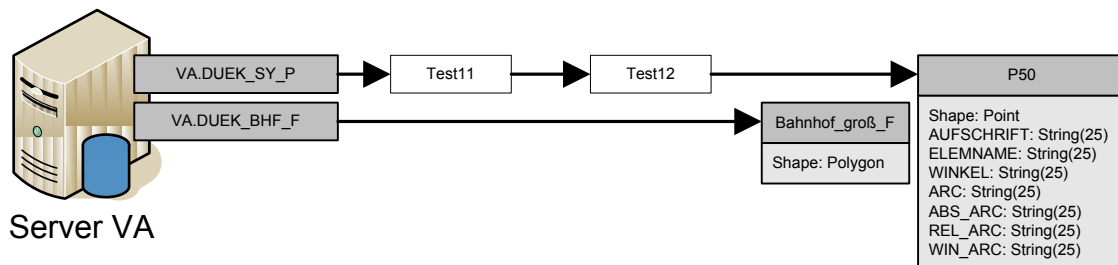


Abbildung 5.24 Datenableitung in FMEObj.Punktsignaturen

In ArcObj.Punktsignaturen werden die Schwerpunkte der Polygone der Featureclass Bahnhof_groß_F bestimmt und diese als Features mit der Bezeichnung ‚BHF‘ unter Aufschrift zu der Featureclass P50 zugefügt. Diese Punkte und die der Features mit Aufschrift ‚BAHN25‘ werden auf die nächste Bahnachse aus der Featureclass ESKN verschoben und als Geometrie der Features abgespeichert. Ist dies geschehen, wird für alle Features in P50 die nächstgelegene Kante des Topologiemodells (VB_Brutto_Line) bestimmt und deren ID in ARC erfasst. Zusätzlich werden der nächstgelegene Punkt auf der Kante in relativer Länge zur Kante in REL_ARC, der Abstand zu diesem Punkt in ABS_ARC und der Winkel

zwischen der Kante und dem Punkt in WIN_ARC bestimmt. Diese vier Attributwerte dienen später zur Neuorientierung der Punkte an den geglätteten und verdrängten Linien, um eine topologisch korrekte Zuordnung der Punkte zu garantieren.

5.3.3.10 Linienglättungs- und Punktneuorientierungsprozeduren

Zu Beginn der Prozedur FMEObj.Linienglättung werden die Gewässerdaten aus UA.wo_line mit den Sachdaten aus UA.V_OW_OWABSCH verknüpft. Über eine SQL-Abfrage lassen sich daraufhin die Fließgewässer nach ihrem Namen selektieren (Vergleich Kapitel 4.3.1, Tabelle 4.2). Die SQL-Abfrage liegt als Textdokument vor und kann jederzeit editiert werden. Die ausgewählten Flusselemente werden durch den Douglas-Algorithmus mit einer Toleranz von 20 m vereinfacht und anschließend mit dem McMaster-Algorithmus unter Berücksichtigung von fünf Nachbarn und einer 50%igen Verschiebung geglättet. Im Anschluss daran werden die Kanten aus VB_Brutto_Line ebenso über den McMaster-Algorithmus, jedoch unter Berücksichtigung von nur drei Nachbarn, geglättet. Zum Erhalt des Liniencharakters wird auf Linienvereinfachungsalgorithmen verzichtet. Bei der Kantenglättung sind alle Kanten, die Bestandteil der Stadtgrenze (also Grenze = ,G') sind, auszuschließen. Die Stadtgrenze muss unverändert bleiben. Nach der Verdrängung sollte notwendigerweise eine Verdrängung durchgeführt werden, die die Kanten auf den geforderten Mindestabstand verdrängt. Der Nickerson-Algorithmus in FME brachte keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Es wird empfohlen, die Verdrängung vorerst außen vor zu lassen und einen Verdrängungsansatz auf Basis energieminimierender Snakes oder der Biegebalken zu implementieren. Wichtig bei der Umsetzung ist, dass alle Kanten erhalten bleiben müssen, um eine spätere Zusammensetzung der Nutzungsflächen zu gewährleisten. Zu Beginn müssen dann die Kanten des Topologiemodells von den Gewässerlinien verdrängt werden, falls die Gewässerlinien nicht mit in das Topologiemodell integriert werden. Ist die Glättung und Verdrängung erfolgt, werden aus dem Kantenmodell die zuvor eingegangenen Featureclasses wieder abgeleitet. Entsprechend der Widmung (WDM) lassen sich aus den Kanten die geglätteten ESKN50-Daten ableiten. Haben die Kantenfeatures unter BRT einen Eintrag, so handelt es sich um Über- oder Unterführungen und müssen in ESKN50-Br geschrieben werden. Ansonsten werden alle Features in die Featureclass VB_Brutto_Line1 übertragen. Aus ihr werden die Kanten zur Polygonzusammensetzung entnommen.

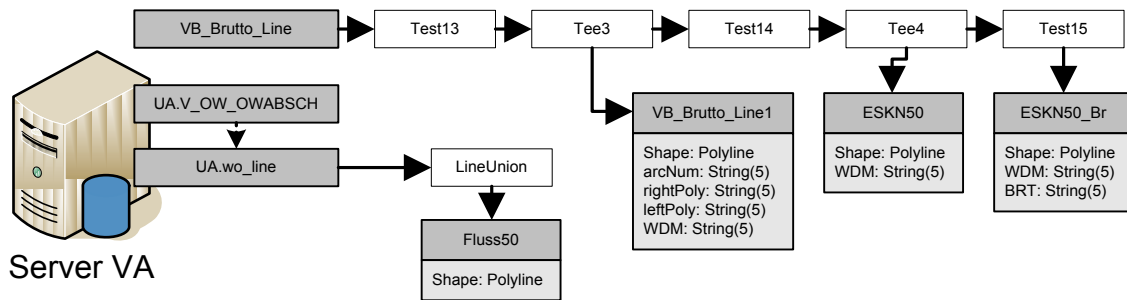


Abbildung 5.25 Datenableitung in FMEObj.Linienglättung

Die Prozedur ArcObj.Punktneuberechnung besteht aus zwei Abschnitten. Im ersten werden die Flächengeometrien der Features aus VB_Brutto_Poly neuermittelt. Jedes Feature hat unter arc alle Kanten, die zur Polygonbegrenzung beitragen, als Zeichenkette gespeichert. Die hinterlegten Kanten-IDs stimmen mit denen in VB_Brutto_Line1, also den geglätteten, überein. Entsprechend der Zeichenkette werden die Features aus VB_Brutto_Line1 zur Flächenneuberechnung verwendet. Im zweiten Abschnitt werden die Punktsignaturen an den geglätteten Linien neuorientiert. Dazu werden alle Features aus P50 aufgerufen. Von der im Feature vermerkten Kante wird im entsprechenden Winkel und Entfernung ein neuer Punkt konstruiert. Dieser ersetzt den ursprünglichen Punkt des Features. Die relative Orientierung, ausgehend von der ursprünglichen, ungeglätteten Kante, ermöglicht eine korrekte topologische Zuordnung der Punkte nach der Glättung, kann jedoch zu starken Zersetzungen bei weiten Entfernungen eines Punktes zur nächstgelegenen Kante führen. Dies ist insbesondere in ländlichen Bereichen anzufinden, wo große Nutzflächen (Bsp. Acker oder Wald) und wenige Straßen vorhanden sind. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf die Dresdner Heide fallen. Ebenso kann es zu Überlagerungen der Signaturen kommen. Eine Verdrängung zwischen den Punkten findet nicht statt. Aufgrund der reduzierten Punktdichte kommt dies nur in seltenen Fällen vor. Eine manuelle Nachbereitung schließt sich jedoch nicht aus.

Im Anschluss Generalisierungsschritt werden die Flächen erneut über die Factory Dissolve zusammengefasst und anschließend an den Straßendaten geclippt.

Letztendlich werden in der Subroutine ArcObj.Umbenennen alle Prozessfeatureclasses gelöscht und die generalisierten Daten zu einem Dataset zusammengefügt.

5.4 Tabellen der Parameterdatenbank und ihre Strukturen

Die Parameterdatenbank dient zum Verwalten der Parameter für den Generalisierungsablauf mit dem vorrangigen Ziel, weitgehend losgelöst vom Quellcodeeditieren neue Attributwerte zu definieren oder die Parameter zu überarbeiten. Der Nutzer kann im Programm unter ‚Parameter überarbeiten‘ die entsprechenden Tabellen aufrufen und bearbeiten. Nähere Informationen zur Überarbeitung werden im nachfolgenden Kapitel 5.5 gegeben. Die Parameterdatenbank gliedert sich in sieben Tabellen auf. Die Struktur dieser ist in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Parameter	
OBJECTID	Autowert
MStab	Integer
Bufferbreite	Double
Mindestgröße	Double
Linienglättung	String (50)

Tabelle 5.1 Tabellenstruktur von Parameter

Die Spalte MStab gibt an, für welchen Maßstab die Parameter definiert sind. Als Werte kommen hier 50 und 90 infrage. Eine Erweiterung auf zusätzliche Maßstäbe ist möglich. Die Spalte Bufferbreite definiert die Weite, die bei der Pufferung vor dem Geometrietypwechsel angewendet wird. Die Mindestgröße hingegen gibt den Wert an, den Flächen mindestens erreichen müssen, um nicht mit anderen Flächen vorab vereinigt zu werden. In der Spalte Linienglättung wird die Konfiguration der Function Generalize in FME festgehalten. Diese liegt in Form einer Zeichenkette vor. Sollten ein anderer Glättungsalgorithmus oder andere Parameter für diesen definiert werden, so muss die Syntax für die Function-Konfiguration in FME beachtet werden. Anderenfalls führt dies zu einer Fehlermeldung und Abbruch der Generalisierung.

StadtF	
OBJECTID	Autowert
SST_LV_3	String (50)
Objektart	String (50)

Tabelle 5.2 Tabellenstruktur von StadtF

UmlandF	
OBJECTID	Autowert
OBJART	String (50)
FKT	String (50)
KLT	String (50)
Objektart	String (50)

Tabelle 5.3 Tabellenstruktur von UmlandF

Die Tabellen StadtF und UmlandF sind ähnlich aufgebaut. StadtF bezieht sich auf die Flächenobjekte des Stadtgebietes, während UmlandF dies für Flächenobjekte des Umlandes tut. Für die Stadtdateien sind die Einträge in SST_LV_3 für die Klassifikation entscheidend. Ihnen wird in der entsprechenden Zeile unter Objektart die neue Klasse zugeordnet. Gleiches gilt für die Umlanddateien, nur dass hier die Klassenzuweisung auf OBJART, FKT und KLT aufbaut. Wichtig bei der Objektartenzuweisung ist, dass diese sich nach der Spaltenbeschriftung der Prioritätentabelle richtet. Eine Neuzuweisung der Einträge muss mit der Umstellung auf die fünfstellige ATKIS-Datencodierung erfolgen.

StadtL	
OBJECTID	Autowert
WDM	String (50)

Tabelle 5.4 Tabellenstruktur von StadtL

UmlandL	
OBJECTID	Autowert
OBJART	String (50)
WDM	String (50)
FKT	String (50)
BDI	String (50)
BKT	String (50)
GLS	String (50)
Objektart	String (50)

Tabelle 5.5 Tabellenstruktur von UmlandL

Die Tabelle StadtL definiert die Selektion der ESKN-Daten. Unter WDM sind alle Widmungen der Straßen einzutragen, die in den Folgemaßstäben erhalten bleiben sollen. Die Tabelle UmlandL dient zur Auswahl der Straßendaten aus dem ATKIS-Bestand. Dies erfolgt über die Attribute OBJART, WDM, FKT, BDI, BKT und GLS entsprechend der Basis-DLM-Struktur. Zusätzlich sind die Objektklassen auf die Widmungen der ESKN-Daten zu bringen.

Da die Spalte WDM bereits der DLM-Attributierung dient, erfolgt die Zuweisung in der Spalte Objektart.

Priorität	
OBJECTID	Autowert
Objektart	Integer
Wohnbebauung	Integer
Gemischte_Bebauung	Integer
Besondere_Bebauung	Integer
Industrie_Gewerbe	Integer
Deponie	Integer
Grünanlage	Integer
Friedhof	Integer
Grünland	Integer
Sumpf	Integer
Weinanbau	Integer
Obstanbau_Kleingärten	Integer
Ackerland_Brache	Integer
Wald_Gehölz	Integer
Gewässer	Integer
Verkehr	Integer
unbestimmt	Integer

Tabelle 5.6 Tabellenstruktur von Priorität

Die Tabelle Priorität dient zur Bestimmung der Klassenverwandtschaft. Jede Klasse, die eine Spalte definiert, muss ebenso als Zeile vorkommen. Eine Erweiterung dieser Matrix durch weitere Objektklassen ist möglich, setzt aber eine Tabellenerweiterung durch zusätzliche Spalten voraus. Die Werte in der Tabelle liegen zwischen 0 und 10. Dabei schließt 0 eine Klassenzugehörigkeit aus. Die Werte dienen der Prioritätsbestimmung benachbarter Flächen und werden mit der relativen Grenzlänge multipliziert. Der Wert der Klassenverwandtschaft geht zu einem Zehntel in diese Multiplikation ein, sodass Grenzlänge und Klassenverwandtschaft gleichgewichtet sind. Höhere Werte in der Matrix würden der Klassenverwandtschaft eine größere Bedeutung beimessen als der Grenzlänge.

Ueberhalt	
OBJECTID	Autowert
BLOCKNR	Long Integer

Tabelle 5.7 Tabellenstruktur von Ueberhalt

In der Tabelle Ueberhalt sind alle Flächenobjekte der Stadt verzeichnet, die zu vergrößern sind. Die Identifikation der Objekte findet über ihre Blocknummer statt. BLOCKNR in der Tabelle muss dementsprechend identisch zur BLOCKNR der EBK-Objekte sein.

5.5 Handlungsanweisungen für den Nutzer

Das Programm lässt sich über Start > Programme > GenX öffnen. Nach dem Öffnen erscheint die Programmoberfläche, auf der die Nutzerangaben zum Generalisierungsvorgang zu treffen sind. Die Oberfläche ist dabei übersichtlich gestaltet, sodass der Nutzer nur wenige Eingaben vornehmen muss. Zuvor sollten bereits abgeleitete Datenbanken aus dem entsprechenden Verzeichnis verschoben werden, um eine Überschreibung der Daten zu verhindern. In jedem Fall findet eine Nutzerabfrage statt, falls eine solche Datenbank bereits vorhanden ist. Ebenso sollte vor dem Programmstart eine Konsistenzprüfung hinsichtlich einer Lückenlosigkeit und Überlappungsfreiheit der Objektdatensätze erfolgen. Während des Programmdurchlaufes sollten die ArcGIS-Programme ArcMap und ArcCatalog möglichst geschlossen bleiben, um Programmabstürze zu vermeiden. In jedem Fall muss vermieden werden, die Prozessdatenbank, also die Datenbank, in der die Daten abgeleitet werden, während des Programmdurchlaufes zu öffnen oder in ArcCatalog geladen zu haben. Im Generalisierungsablauf werden automatisch Featureclasses und Data-sets gelöscht und neu generiert. Eine geöffnete Datenbank führt deshalb zwangsläufig zum Programmabsturz und Verlust der abgeleiteten Daten.

Während des Generalisierungsprozesses kann die Datenableitung jederzeit über den Button Abbruch gestoppt werden, allerdings werden dann alle bis dahin generalisierten Datensätze gelöscht. Ein späteres Einsetzen an dem abgebrochenen Prozessschritt ist nicht möglich. Der Nutzer hat – wie zuvor schon erwähnt – die Möglichkeit die Datensätze der Parameterdatenbank zu editieren. Dabei muss auf eine korrekte Parametereingabe – wie in Kapitel 5.4 beschrieben – geachtet werden, um Programmfehler zu verhindern. Treten wider Erwarten Programmfehler auf, bietet die Tabelle über mögliche ErrorHandlers (Anhang E) einen Ansatz zur Fehleranalyse und -behebung. Obwohl versucht wurde, möglichst viele Parameter in den Tabellen zu speichern und so ein Editieren ohne Eingriff in den Quellcode zu ermöglichen, ließ sich dies aus diversen Gründen nicht für alle Parame-

ter vollziehen. So muss beispielsweise bei einer Änderung der Codierung für die Strukturtypen Baustelle in den Quellcode eingegriffen werden und in der Prozedur KlassifikationStadt der Strukturtypverweis editiert werden. Ebenso muss bei Änderungen der Tabellenstrukturen, beispielsweise bei einer Erweiterung der ATKIS-Klassifikation oder bei Hinzunahme neuer Objektarten (beachte Prioritätstabelle), der Quellcode auf die neuen Strukturen angepasst werden. Zudem sind die Parametertabellen anzugleichen.

Vor der Generalisierung müssen alle Blöcke der Überhaltungstabelle erfasst werden, die zu überzeichnen sind. Ist dies nicht erfolgt, gehen unter Umständen erhaltenswürdige Flächen gänzlich verloren. Die Tabelle Überhaltung muss manuell gefüllt und auf die entsprechende BLOCKNR in der Tabelle verwiesen werden.

Nach Abschluss der Generalisierung müssen die Datensätze geprüft und mögliche Fehler bei der Ableitung interaktiv gelöst werden. Hinweise hierfür liefert Kapitel 7. Der Generalisierungsablauf beschränkt sich auf die reine Objektgeneralisierung. Eine automatische Kartengenerierung, einschließlich einer Schriftplatzierung und Signaturierung, findet nicht statt. Dies muss ebenso interaktiv erfolgen. Auch hierfür wird auf Kapitel 7 verwiesen.

Kapitel 6 | Evaluation der Ergebnisse

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Analyse und Bewertung der Generalisierungsergebnisse der Daten in 1:50.000. Die Ergebnisse lassen einen Schluss auf die Qualität der gesamten Applikation zu. Sie tragen zur Erkenntnisgewinnung über die Stärken und Schwächen des Generalisierungsablaufes bei. (Vergleich BURGHARDT ET AL. (2008))

MACKANESS & RUAS (2007) unterscheiden drei Typen der Evaluierung: die Evaluierung zur Einstellung des Generalisierungssystems (Evaluation for tuning), die Evaluierung zur Kontrolle des Prozesses während der Generalisierung (Evaluation for controlling) und die Evaluierung zur Bewertung der Qualität nach der Generalisierung (Evaluation for assessing). Letzteres ist für dieses Kapitel ausschlaggebend. Die Evaluierung zur Qualitätsbewertung lässt sich des Weiteren in drei Untertypen unterteilen: Die Evaluierung zur Nachbearbeitung (Evaluation for editing) dient zur Bestimmung und Aufdeckung von Fehlern. Die beschreibende Evaluierung (Descriptive evaluation) liefert eine Zusammenfassung über Veränderungen gegenüber den Ausgangsdaten. Die Evaluierung zur Gütebestimmung (Evaluation for grading) liefert letztlich eine Gesamtbewertung für den Generalisierungsprozess. Da für die Gütebestimmung eine automatisierte bedingungsbasierte Evaluierung nicht möglich ist, beschränkt sich die beschreibende Evaluierung und die Gütebestimmung auf eine numerisch-manuelle Evaluierung. Dazu beschreiben BURGHARDT ET AL. (2008) die Möglichkeit einer Expertenevaluation. Dabei sollen folgende Aspekte bei der Analyse berücksichtigt werden:

- für ein Objekt: Leserlichkeit (Minimaldimension), Granularität (Detailreichtum) und Formerhalt;
- für zwei Objekte: räumliche Trennung beider Objekte (Entfernung dazwischen), relative Position und Inkonsistenzen zwischen korrelierenden Themen;
- für mehrere Objekte: Qualität der Informationen und räumliche Verteilung.

Die folgenden Evaluierungen beschränken sich auf die abgeleiteten Daten in 1:50.000. Im zeitlichen Rahmen der Diplomarbeit war eine Ableitung der Ausgangsdaten in den Folgemaßstab 1:90.000 nicht möglich. Zudem erscheint ein Vergleich der Daten in 1:90.000 mit der amtlich-topographischen Karte 1:100.000 des Staatsbetriebes Geobasisinformation und Vermessung Sachsen (Kapitel 6.5) aufgrund der unterschiedlichen Zeichenschlüssel und Objektzuweisungen ungünstig.

6.1 Evaluierung zur Nachbearbeitung

Während des Generalisierungsprozesses werden fehlerhafte Geometrierverschneidungen vorgenommen, die letztlich zur Ausbildung von Minimalflächen führen. Diese sind im Datensatz unter Objektart als unbestimmt klassifiziert. Bei der Ableitung der Daten in 1:50.000 sind 122 von insgesamt 3194 Flächenobjekten unbestimmt und müssen manuell nachbearbeitet werden. Dies entspricht 3,8 % aller Features im Datensatz. Dabei nehmen sie lediglich eine Gesamtfläche von 1,38 ha – 0,04 % der gesamten Fläche Dresdens – ein (Vergleich Tabelle 6.1). Bis auf wenige Ausnahmen liegt die Flächenbreite unter der Signaturbreite der Straßenobjekte und ist dementsprechend vernachlässigbar klein. Bei der Nachbereitung müssen die Minimalflächen mit einer benachbarten Fläche vereinigt werden. Gegebenenfalls können diese Objekte auch rudimentäre Flächen als Folge der Datenharmonisierung sein. In diesem Fall genügt ein Entfernen des Features aus dem Datensatz.

Objektart	Anzahl der Features nach Klassifikation	Gesamtfläche nach Klassifikation [m ²]	Anzahl der Features nach der Generalisierung	Gesamtfläche nach Generalisierung [m ²]	Kleinste Fläche nach Generalisierung [m ²]	Größte Fläche nach Generalisierung [m ²]	Flächendurchschnitt nach Generalisierung [m ²]	Prozentualer Anteil an allen Features [%]	Prozentualer Anteil an der Gesamtfläche [%]
Ackerland/Brache	481	63775535,93	214	65056124,47	9,02	4003549,15	304000,58	6,70	19,78
Besondere Bebauung	263	8049140,83	189	7866808,05	16,10	318026,70	41623,32	5,92	2,39
Friedhof	41	2403822,52	36	2315291,76	12667,47	522521,68	64313,66	1,13	0,70
Gemischte Bebauung	150	3808795,74	105	3638600,34	30,13	141241,48	34653,34	3,29	1,11
Gewässer	87	5721935,50	35	5890929,02	13,43	1385971,67	168312,26	1,10	1,79
Grünanlage	902	26150316,50	501	24966929,23	5,49	1748122,44	49834,19	15,69	7,59
Grünland	480	29593463,73	258	29369118,99	5,29	1097004,09	113833,79	8,08	8,93
Industrie/Gewerbe	567	19688488,54	366	19922587,45	0,09	584309,85	54433,30	11,46	6,06
Obstanbau/Kleingärten	575	21855850,29	353	22119529,85	4,71	2562482,33	62661,56	11,05	6,73
Verkehr	373	8631970,25	198	8050663,62	32,89	1271854,84	40659,92	6,20	2,45
Wald/Gehölz	472	80835046,06	242	81064520,59	0,08	22873654,49	334977,36	7,58	24,65
Weinanbau	8	320307,58	7	328687,26	11648,09	131779,42	46955,32	0,22	0,10
Wohnbebauung	2126	57688860,60	568	58183101,91	38,67	900889,69	102435,04	17,78	17,69
unbestimmt	-	-	122	137707,65	2,56	19438,01	1128,75	3,82	0,04
Gesamt	6525	328523534,07	3194	328910600,19	24474,01	37560845,84	1419822,39	100,00	100,00

Tabelle 6.1 Vergleich der Flächenobjekte vor und nach dem Generalisierungsprozess

6.2 Numerisch beschreibende Evaluierung

TÖPFER (1979) beschreibt das Wurzelgesetz, das aus Untersuchungen über Gesetzmäßigkeiten der generalisierten topographischen Karten hervorging. Aus dem Wurzelgesetz ergibt sich ein allgemeines Auswahlgesetz [19], das auf dem Verhältnis der Ausgangsdaten zu den abgeleiteten Folgedaten basiert.

$$n_F = n_A C_B C_Z \sqrt{\frac{M_A}{M_F}} \quad [19]$$

Betrachtet man das Auswahlgesetz für $M_A = 25.000$ und $M_F = 50.000$ unter Berücksichtigung gleichbleibender Kartenmaße in der Ausgangs- und Folgekarte und einer besonde-

ren Bedeutung der Folgekarte, so ergibt sich für punktförmige und flächenhafte Objekte eine Auswahl $n_F = 0,5 n_A$, für linienhafte Objekte hingegen $n_F = 0,707 n_A$.

Objektart	Anzahl der Objekte vor Generalisierung	Anzahl der Objekte nach der Generalisierung	Verhältnis von Ausgangs- zu Folgedaten	Abweichung vom Idealwert 0,5	Durchschnittliche Flächen- größe vor Generalisierung	Durchschnittliche Flächen- größe nach Generalisierung	Reziprokes Verhältnis von Ausgangs- zu Folgedaten	Abweichung vom Idealwert 0,5	Anteil an der Gesamtfläche vor Generalisierung [%]	Anteil an der Gesamtfläche nach Generalisierung [%]	Flächenänderung [%]
Ackerland/ Brache	481	214	0,445	-0,055	132589,472	304056,617	0,436	-0,064	19,413	19,783	0,370
Besondere Bebauung	263	189	0,719	0,219	30605,098	41625,196	0,735	0,235	2,450	2,392	-0,058
Friedhof	41	36	0,878	0,378	58629,818	64313,660	0,912	0,412	0,732	0,704	-0,028
Gemischte Bebauung	150	105	0,700	0,200	25391,972	34656,436	0,733	0,233	1,159	1,106	-0,053
Gewässer	87	35	0,402	-0,098	65769,374	168333,148	0,391	-0,109	1,742	1,791	0,050
Grünanlage	902	501	0,555	0,055	28991,482	49881,545	0,581	0,081	7,960	7,598	-0,362
Grünland	480	258	0,538	0,038	61653,049	113921,096	0,541	0,041	9,008	8,936	-0,072
Industrie/ Gewerbe	567	365	0,644	0,144	34723,966	54625,797	0,636	0,136	5,993	6,062	0,069
Obstanbau/ Kleingärten	575	353	0,614	0,114	38010,174	62699,922	0,606	0,106	6,653	6,729	0,076
Verkehr	373	198	0,531	0,031	23142,011	40782,975	0,567	0,067	2,628	2,455	-0,172
Wald/ Ge- hölz	472	242	0,513	0,013	171260,691	335014,449	0,511	0,011	24,606	24,649	0,044
Weinanbau	8	7	0,875	0,375	40038,447	46955,323	0,853	0,353	0,097	0,100	0,002
Wohnbe- bauung	2126	568	0,267	-0,233	27134,930	102459,104	0,265	-0,235	17,560	17,694	0,134
Gesamt	6525	3071	0,471	-0,029	737940,483	1419325,268	0,520	0,020	100	100	0,000

Tabelle 6.2 Vergleich der manuell bereinigten Flächenobjekte im Hinblick auf Übereinstimmung mit dem Auswahlgesetz

Die Tabelle 6.2 zeigt die Veränderungen zwischen Ausgangs- und Folgedaten flächenhafter Objekte. Durch den Generalisierungsvorgang konnte die Anzahl der Flächenobjekte von 6525 nach der Klassifizierung auf 3071 nach dem Gesamtablauf reduziert werden. Dies entspricht einem Quotienten von 0,471 und liegt damit annähernd am theoretischen Wert von 0,5 aus dem Auswahlgesetz. Die durchschnittliche Flächengröße hingegen ließ sich um das 1,92-fache vergrößern. Der reziproke Wert von 0,52 entspricht ebenso nahezu dem Idealwert des Auswahlgesetzes. Die Vorgabe, die Flächenverhältnisse über die Gesamtfläche zu wahren, konnte gleichermaßen erfüllt werden. Bei allen Objektarten ist

nur ein Zuwachs bzw. Verlust des relativen Anteils an der Gesamtfläche von deutlich unter einem Prozent zu verzeichnen.

Die Ergebnisse in Bezug auf die Analyse der Ableitung der ESKN-Daten fällt weniger positiv aus. Tabelle 6.3 zeigt die Veränderungen der abgeleiteten Objekte gegenüber den Ausgangsdaten. Das Verhältnis der Anzahl von den Ausgangs- zu den Folgedaten sollte theoretisch dem Wert von 0,707 entsprechen, stattdessen liegt dieses bei 0,307. Ebenso wird die Gesamtlänge des Straßennetzes um den Faktor 0,363 verringert und liegt gleichermaßen fern vom Idealwert. Die beiden Werte deuten eher auf die 3. Auswahlstufe nach TÖPFER (1979) mit einer Auswahlnorm von 1:3 oder 0,353 hin. Eine derartige Auswahlstufe für linienhafte Objekte ist jedoch für Folgekarten mit geringer Bedeutung vorgesehen. Dies spricht dafür, dass die Straßendaten gegenüber den Flächenobjekten eine geringe Objektdichte aufweisen.

WDM	Anzahl der Objekte vor Generalisierung	Anzahl der Objekte nach Generalisierung	Verhältnis von Ausgangs- zu Folgedaten	Gesamtlänge der Objekte vor Generalisierung	Gesamtlänge der Objekte nach Generalisierung	Verhältnis von Ausgangs- zu Folgedaten
A	22	22	1	21795,40	21799,50	1,0002
AA	29	29	1	14714,80	14728,00	1,0009
B	376	376	1	79163,87	79200,92	1,0005
BB	2	0	0	734,10	0	0
DB	40	40	1	51085,90	51104,74	1,0004
E	43	0	0	10273,12	0	0
FW	236	0	0	93981,75	0	0
H	1199	1199	1	186402,14	186481,81	1,0004
K	369	369	1	75323,67	75357,24	1,0004
P	162	0	0	52298,79	0	0
S	363	363	1	76950,04	76983,05	1,0004
SB	13	0	0	5001,60	0	0
U	7767	1229	0,158	1041155,99	180043,46	0,1729
W	1088	0	0	162778,59	0	0
X	115	0	0	15737,66	0	0
Gesamt	11824	3627	0,307	1887397,4186	685698,7201	0,3633

Tabelle 6.3 Vergleich der ESKN-Daten im Hinblick auf Übereinstimmung mit dem Auswahlgesetz nach der Generalisierung

6.3 Evaluierung zur Gütebestimmung

MACKANESS & RUAS (2007) geben einen Ansatz zur Gütebestimmung, in dem die generalisierten Daten auf spezifische Kriterien geprüft werden. Dazu sind Qualitätsfunktionen zu erstellen, die die Ausgangs- und generalisierten Daten miteinander vergleichen. Die Funktion liefert einen Initialwert. Die Abweichung des Initialwertes vom Idealwert – oder besser sein Verhältnis zu einer vorgegebenen Toleranz ε – ergibt einen Qualitätswert. Es werden vier Qualitätsstufen berücksichtigt: Gut (Idealwert bis $\varepsilon/2$), noch gut ($\varepsilon/2$ bis ε), eher schlecht (ε bis $1,5 \varepsilon$) und schlecht (über $1,5 \varepsilon$).

Berücksichtigt man diesen Ansatz bei der Evaluierung, sind zuvor die spezifischen Funktionen aufzustellen. Für die Flächendaten lassen sich die Einhaltung der Mindestflächengröße und Mindestbreite prüfen. Für die Mindestfläche der Daten in 1:50.000 gilt 1 ha, also 10.000 m². Dabei werden 5 % Abweichungen vom Mindestwert toleriert. Da die Ermittlung von Polygonbreiten schwer durchzuführen ist und nicht sinnvoll erscheint, wird stattdessen der Anteil eines Polygons gegenüber seiner Gesamtfläche ermittelt, in dem die Mindestbreite von 100 m unterlaufen wird. Für die Toleranz werden auch hier 5 % festgelegt. Somit ergeben sich folgende Formeln:

$$f(x)_{\text{Fläche}} = \begin{cases} 10000 & \text{für } x < 10000 \\ x & \text{für } x \geq 10000 \end{cases} \quad \text{mit } \varepsilon = 500 \quad [20]$$

$$f(x)_{\text{Breite}} = 1 \quad \text{mit } \varepsilon = 0,05 \quad [21]$$

Von insgesamt 3071 Flächenobjekten wurde die Mindestfläche von 10.000 m² bei 2892 Objekten erreicht. Diese und weitere neun Flächen, also 2901 Flächenobjekte, lagen mit ihrer Abweichung unterhalb des halben Toleranzwertes (250 m²) und sind dementsprechend als gut befunden. Drei Flächen sind mit noch gut bewertet, da ihre Abweichungen über 250 m² aber unter 500 m² liegen. Die restlichen 167 Flächen liegen im schlechten Bewertungsbereich. Zwei von ihnen sind eher schlecht, die anderen 165 Flächen weichen deutlich vom Toleranzwert ab. Hier finden sich Minimalflächen mit Flächeninhalten unter einem Quadratmeter. Betrachtet man die gemittelte Abweichung aller Flächen vom Idealwert, so liegt diese bei 400,3 m² und somit zwischen dem halben und

dem vollen Toleranzwert. Die Generalisierung bezüglich der Einhaltung der Mindestflächengröße lässt sich folglich als noch gut bewerten.

Die Analyse der Flächen hinsichtlich ihrer Unterschreitung der Mindestbreite ergab ein schlechtes Ergebnis. Nur bei 1546 von 3071 Flächen lag der Anteil der Unterschreitung unter 2,5 % ihrer Fläche und wurde somit als gut befunden. 109 Flächen wurden mit noch gut belegt, während nahezu die andere Hälfte der Flächen als schlecht evaluiert wurde. 96 von ihnen waren eher schlecht und demnach mit 5 bis 7,5 % Flächenanteil unterhalb der Mindestbreite und 1320 waren sehr schlecht. 820 Flächen unterschritten die Mindestbreite vollständig. Ausgehend von der Gesamtfläche aller generalisierten Flächenobjekte mit 328.908.925 m² wurde die Mindestbreite in 30,8 % dieser Fläche unterschritten und liegt somit deutlich über der Toleranz.

Jedoch sind dieses Ergebnis sowie das Ergebnis der Mindestflächengröße unter Vorbehalt zu betrachten. Derzeit ist ein Verdrängungsalgorithmus, der den Abstand der Flächen Grenzen zueinander auf einen Mindestabstand verdrängt, nicht implementiert. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch die Notwendigkeit, einen solchen Algorithmus nachträglich zu integrieren.

Auf eine Analyse des Straßennetzes sei hier verzichtet, da die Auswahl der Straßen rein semantisch erfolgte und sich die Ergebnisse somit schwierig in Form von Formeln evaluieren lassen. Eine numerische Analyse des Konfliktpotentials überlappender Straßen würde aufgrund der fehlenden Verdrängung ebenso negativ ausfallen.

Für die meisten Punktobjekte ist eine quadratische Punktsignatur von 2 mm x 2 mm definiert. Um eine Überlappung der Signaturen – auch in diagonale Richtung – zu verhindern, müssen die Punktobjekte mindestens 141 m auseinanderliegen. Zur Evaluierung gilt folgende Formel:

$$f(x)_{Distanz} = \begin{cases} 141 & \text{für } x < 141 \\ x & \text{für } x \geq 141 \end{cases} \quad \text{mit } \varepsilon = 7,05 \quad [22]$$

Bei allen 14.706 Distanzberechnungen waren 14.692 Distanzen zwischen zwei Punkten größer als 144,5 m und somit gut. Ein Abstand von 138,6 m war noch gut. Ein anderer

Abstand mit 133,5 m wurde als eher schlecht befunden und 13 weitere als schlecht. Alles in allem lässt sich die Generalisierung bezüglich der Punktlage als gut betrachten.

6.4 Individuelle subjektive Bewertung

In Anlehnung an STOTER ET AL. (2010) und BURGHARDT ET AL. (2008) soll eine individuelle Bewertung erfolgen. Die Ergebnisse sind subjektiv geprägt. Zu einer objektiven Bewertung sollten mehrere Probanden die Ergebnisse der Generalisierung evaluieren. Dies konnte aus zeitlichen und organisatorischen Gründen nicht erfolgen. Dennoch gibt die folgende Einschätzung einen Hinweis auf die Stärken und Schwächen des Programmes.

Im Hinblick auf die Leserlichkeit lassen sich die generalisierten Daten positiv bewerten. Einzelne Flächen sind deutlich erkennbar und lassen sich von benachbarten Flächen eindeutig unterscheiden. Die Mindestgröße scheint, bis auf wenige Ausnahmen, eingehalten zu sein. Das Straßennetz ist auf die wichtigsten Verkehrswege reduziert. Problematisch sind Bereiche, in denen sich Straßenabschnitte überlagern. Die Punktobjekte sind ebenso eindeutig erkennbar. Zum Teil überlagern sich Signaturen gegenseitig oder überlagern angrenzende Straßensignaturen. Durch die nach wie vor starke Differenzierung von Flächen in unterschiedliche Objektarten wird ein hoher Grad an Detailreichtum erzielt, während das Straßennetz, wie zuvor erwähnt, auf die wichtigsten Straßenabschnitte gelichtet ist. Die Punktobjekte bleiben nahezu vollständig gegenüber der Ausgangskarte in 1:25.000 erhalten. Somit kann auch hier ein hoher Grad an Detailliertheit erreicht werden. Gleiches gilt für die Formerhaltung. Es wurde versucht, die objekttypischen Formen zu wahren. Dies ist bei den Straßen zweifelsohne geglückt, bei den Flächen hingegen treten teilweise ungünstige Flächenvereinigungen, die den Formerhalt beeinträchtigen, auf. Dennoch lässt sich zusammenfassend die generalisierte Karte dem Maßstab und Kartenzweck als Übersichtskarte erfüllend betrachten. Die Abbildung 6.1 und die dazugehörige Tabelle 6.4 zeigen positive und negative Beispiele der Generalisierung im Maßstab 1:50.000.

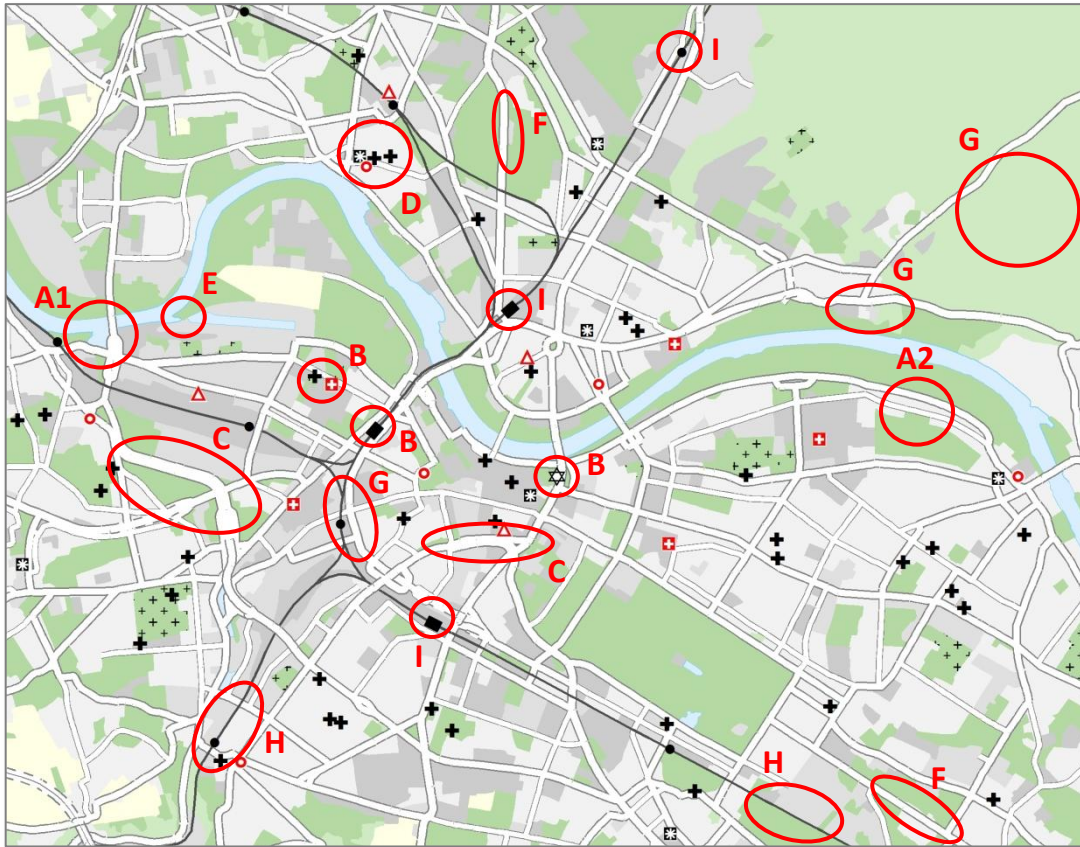


Abbildung 6.1 Generalisierte Karte in 1:50.000 mit Markierungen über positive und negative Beispiele

Beispiel in Karte	Qualitätsstufe			Gründe für die Qualitätseinschätzung
	gut	mittel- mäßig	schlecht	
A1			X	Zusammenfassen der Gewässerflächen oder Flächenprojektion über Uferbegrenzung hinaus
A2		X		Ungünstige Zusammenfassung oder Flächenprojektion der Grünflächen; Formerhalt nicht gewahrt
B		X		Überlagerung von Punktsignaturen mit Straßen
C			X	Überlagerung von Straßenabschnitten; Keine Verdrängung oder Zusammenlegung zweier Straßen
D		X		Gegenseitige Überlagerung von Punktsignaturen
E			X	Abtrennung eines Gewässerarmes infolge des Geometrietypwechsels; Möglicher Ausweg: Vergrößerung des Gewässerabschnittes
F			X	Schlechte Wahrnehmung kleiner Flächen entlang von Straßen infolge der Überdeckung der Straßensignatur
G	X			Deutliche Vereinfachung gegenüber den Ausgangsdaten; Darstellung des Wesentlichen, Wegfall kleiner unbedeutender Flächen.
H	X			Topologische Anpassung der generalisierten Flächen an Verkehrswege
I	X			Verschiebung der Bahnhofs- und Haltepunktsignaturen an die generalisierte Gleissignatur

Tabelle 6.4 Ausführung zur Qualitätseinschätzung Bezug nehmend auf Abbildung 6.1

6.5 Vergleich mit der amtlich-topographischen Karte

Zum Vergleich der generalisierten Übersichtskarte in 1:50.000 der Stadt Dresden ist die digitale topographische Karte 1:50.000 des Staatsbetriebes Geobasisinformation und Vermessung Sachsen L4948 „Dresden“ am geeignetsten. Der neue Zeichenschlüssel der DTK liegt der Darstellung der Dresdner Übersichtskarte nahe.

Die zuvor erlangten numerischen Evaluationsergebnisse werden im Vergleich beider Karten bekräftigt. In der DTK50 ist das Straßennetz nahezu vollkommen erhalten, während das Straßennetz der Übersichtskarte auf die wesentlichen Straßen reduziert ist. Als unterste Kategorie sind Straßen mit Hauptsammel- und Sammelfunktion erhalten. Auch bei der Darstellung der Gleisanlagen gibt es deutliche Unterschiede. So sind in der DTK zum Teil mehrere Gleissignaturen parallel angeordnet und dargestellt. Die Übersichtskarte stellt die Gleisanlagen ausschließlich eingleisig dar. Dies ist jedoch bereits in den Ausgangsdaten in 1:25.000 der Fall. Laut dem Ergebnis nach Töpfers Auswahlgesetz kommt der Darstellung des Straßen- und Schienennetzes nur eine geringe Bedeutung, also nur ein Übersichtscharakter, zu. Der Vergleich mit der DTK und die Detaillierung der Straßen in dieser bekräftigen diese Erkenntnis. Die Klassifizierung der Flächen nach ihrer Objektart ist in der Übersichtskarte hingegen detaillierter. In der DTK50 werden die Bebauungsarten nicht wie in der Übersichtskarte in Wohn-, Misch oder besondere Bebauung untergliedert, sondern in offene und geschlossene Bebauung unterteilt. Eine weitere Differenzierung der Grünflächen erfolgt ebenso wenig. Auch der höhere Detaillierungsgrad der Flächen in der Übersichtskarte gegenüber der DTK und die entsprechende Erkenntnis aus dem Auswahlgesetz mit besonderer Bedeutung der Flächendarstellung können somit im Kartenbild beider Kartenausschnitte nachvollzogen werden. Die Darstellung der Punktoobjekte wiederum ist detaillierter in der DTK50. Sowohl Denkmäler, Schlösser, Schornsteine, Türme, Umspannwerke als auch Sportplätze werden zusätzlich ausgewiesen. Dafür werden andere Signaturen wie Polizeistationen oder Ortsämter nicht dargestellt. Im Hinblick auf den Zweck als reine Übersichtskarte der Stadt Dresden scheint die generalisierte Übersichtskarte gegenüber der DTK50 geeigneter zu sein. Die hohe Straßendichte in der DTK beeinträchtigt einen derartigen Übersichtscharakter. Die weitergehende Differenzierung der Flächen in der Übersichtskarte bildet dennoch mit den gelichteten Straßen- und Punktdaten ein ausgeglichenes Kartenbild (Vergleich Abbildungen 6.2 und 6.3).

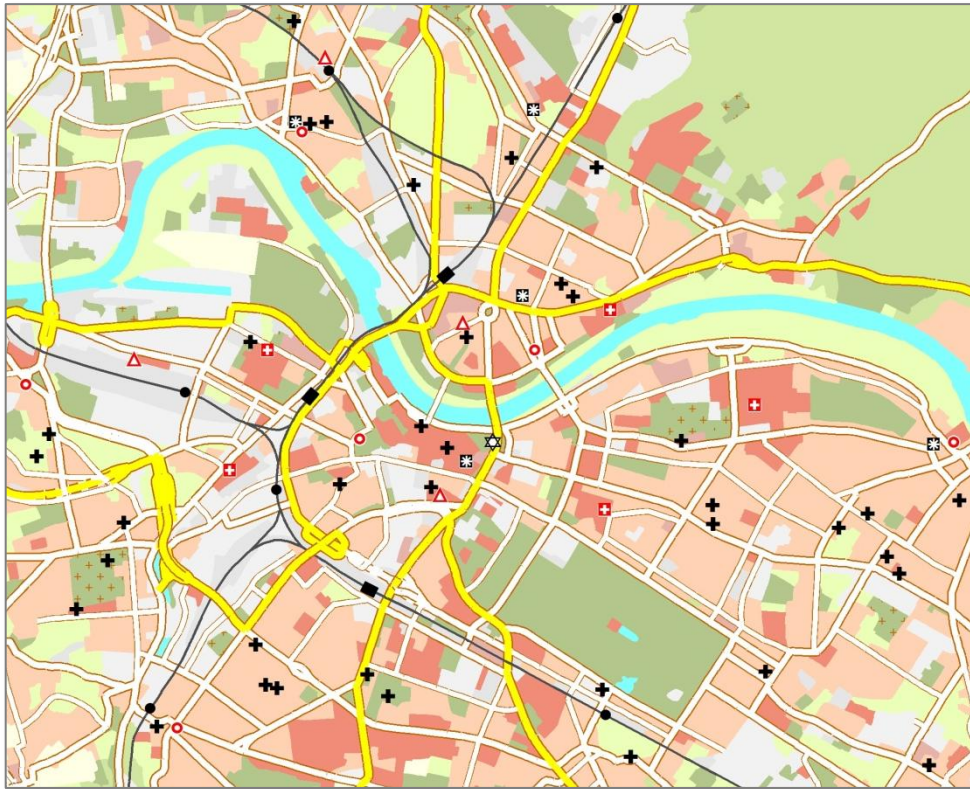


Abbildung 6.2 Ausschnitt aus der generalisierten Übersichtskarte Dresdens

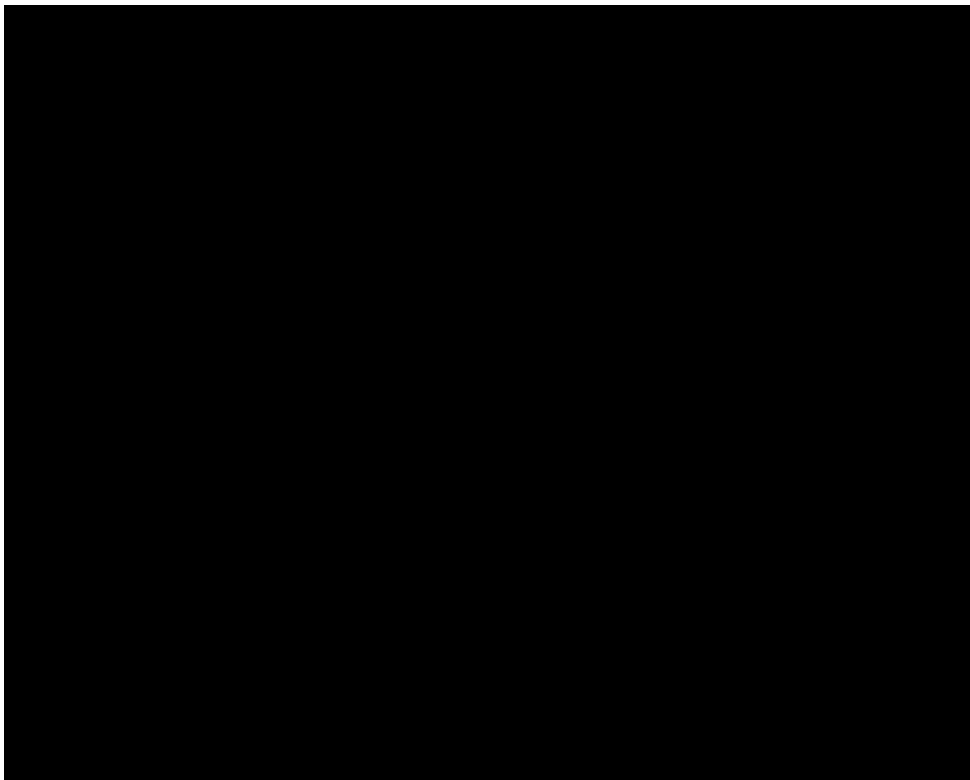


Abbildung 6.3 Ausschnitt aus der DTK50 „Dresden“ (L4948).
TK50, © Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung
Sachsen 2010; Genehmigungsnummer: 21902/2010

Kapitel 7 | Fehleranalyse und Dokumentation interaktiv zu lösender Konflikte

Auf mögliche Fehler, die in den Objektdatensätzen nach der Generalisierung vorkommen, wurde bereits in der programmtechnischen Umsetzung (Kapitel 5) hingewiesen. Diese entstehen vorrangig durch inkorrekte aber derzeit nicht vermeidbare geometrische Objektveränderungen infolge der Flächenaggregation im Anschluss an einen Geometrietypwechsel. Im weiteren Verlauf der Generalisierung werden die entstandenen Lücken zwischen den Flächen gefüllt und weitgehend der richtigen Objektart zugeordnet. Dennoch entstehen beim Lückenschluss Minimalflächen, die keiner Objektart zugeordnet werden können. Sie müssen manuell nach der Generalisierung einer benachbarten Fläche zugeordnet werden. Die Features der Minimalflächen sind in ihren Attributen, insbesondere unter Objektart, wertelos. Alle fehlerhaften Flächen können so selektiert werden. Die Breite dieser Flächen liegt in den meisten Fällen unter der Signaturbreite. Die fehlerhaften Flächen würden folglich von den Straßensignaturen überdeckt werden, vorausgesetzt sie grenzen an solche. In diesen Fällen dient eine Datenbereinigung also eher der Topologieaufbereitung als der korrekten Darstellung im Kartenbild. Wichtig ist, dass bereits vor der Generalisierung die Daten in 1:25.000 auf ihre topologische Konsistenz geprüft und Lücken geschlossen werden. Liegen hier Lücken vor, werden diese übernommen und spätestens beim Lückenschluss als unbestimmte Fläche ausgewiesen.

Eine zweite Fehleranalyse sollte hinsichtlich der richtigen Lage der Flächen durchgeführt werden. Flächen, die während der Generalisierung auf Verkehrswege projiziert wurden, an die sie zuvor nicht grenzten, sollten in der interaktiven Nachbereitung auf ihre ursprüngliche topologisch-korrekte Lage zurückkonstruiert werden. Ebenso sind die Punktsignaturen auf ihre korrekte Lage zu prüfen und gegebenenfalls zu berichtigen. Eine Punktverdrängung zwischen zu dicht liegenden Punkten findet zudem nicht statt. Auch hier sind die Punkte manuell zu verschieben.

Diese Probleme zeigen, dass eine Datensichtung in jedem Fall nach der Generalisierung durchgeführt werden muss, bevor die Daten auf der SDE weiteren Nutzern zur Verfügung gestellt werden.

Wie bereits zuvor erwähnt, beschränkt sich die Applikation ausschließlich auf die Generalisierung der Objektdaten. Eine automatische Kartengenerierung erfolgt nicht. Diese ist manuell vorzunehmen. Insbesondere ist hierfür eine manuelle Schriftplatzierung notwendig. Bei der Kartengenerierung ist zu beachten, dass die administrativen Grenzen im Generalisierungsprozess nicht berücksichtigt wurden. Für die Kartendarstellung sind diese Grenzen mit denen der Übersichtskarte in 1:25.000 identisch und aus dem gleichen Datensatz zu entnehmen. Für die Generalisierung wurden die Signaturmaße der Übersichtskarte in 1:25.000 berücksichtigt. Entsprechend lässt sich der Zeichenschlüssel der Übersichtskarte auf die Folgekarten übertragen. Sollten dennoch andere Signaturen verwendet werden, können die bestimmenden Signaturmaße als Parameter im Generalisierungsprozess berücksichtigt werden.

Obwohl die Interaktion des Programmnutzers und des Generalisierungsalgorithmus gering gehalten und so eine Fehleranfälligkeit des Programmes minimiert wird, können unter Umständen Programmfehler auftreten. Einen Ansatz zur Fehleranalyse und -behebung liefert die Tabelle über mögliche Programmfehler im Anhang E.

Kapitel 8 | Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Arbeit und die daraus hervorgehende Generalisierungsapplikation liefern erste Ansätze zur automatischen Ableitung der Daten des Dresdner Vermessungsamtes von 1:25.000 in kleinere Folgemaßstäbe. Dabei wurden verschiedene Generalisierungsoperatoren und –algorithmen zu einem Gesamtablauf zusammengefügt, mit dem Ziel, die Objekte der verschiedenen Datensätze bestmöglich für die kartographische Darstellung zu generalisieren und vorzubereiten. Da die verschiedenen Datensätze aufeinander aufbauen, galt die Beachtung insbesondere der Topologiewahrung der verschiedenen Objekte zueinander. Der Schwerpunkt der praktischen Arbeit lag in der Schaffung eines Algorithmus zur Durchführung des Geometrietypwechsel und anschließende Flächenaufteilung, stets unter Berücksichtigung der topologisch-korrekten Lage der Flächen zu Verkehrswegen oder der Stadtgrenze. Die erzielten Ergebnisse in Bezug auf die Schaffung eines Programmes zur automatischen Generalisierung lassen sich positiv bewerten, wohlgleich eine Weiterentwicklung und Verbesserung des Programmes und der Algorithmen notwendig sind. Insbesondere sollte dies im Hinblick auf eine schnellere Rechenzeit und geringere Fehleranfälligkeit geschehen.

Das Fehlen eines adäquaten Verdrängungsalgorithmus mindert die Qualität des gesamten Generalisierungsprozesses. Ohne eine angemessene Verdrängung scheinen die abgeleiteten Daten wenig zufriedenstellend, überlagern sich doch vor allem Linienobjekte in Bereichen mit hoher Objektdichte. Die Implementierung eines Verdrängungsansatzes auf Basis energieminierender Splines oder des Biegebalkenansatzes sollte zwangsläufig erfolgen, um die Qualität der Daten zu wahren und die interaktive manuelle Nachbereitung zu reduzieren. Bevorzugterweise sollte der Biegebalkenansatz umgesetzt werden. Dieser ermöglicht ebenso eine Knotenpunktverschiebung. Möglicherweise sollten einher mit der Integration des Verdrängungsansatzes die Fließgewässerdaten in dem zuvor erstellten Topologiemodell berücksichtigt werden, um so eine Verdrängung der Linienobjekte von den Fließgewässern zu ermöglichen.

Des Weiteren sollte die Orientierung der Punktsignaturen nach der Glättung und Verdrängung verbessert werden. Derzeit werden die Punktobjekte an dem nächstgelegenen Linienobjekt orientiert und ausgerichtet. Dies ist mit der Konsequenz verbunden, dass dies, mit wachsender Entfernung des Punktes zur Linie und in Abhängigkeit der Glättung und der Verdrängung, zu starken Punktversetzungen führt. Eine Orientierung zu allen umgebenen Linienobjekten scheint sinnvoll und ließe sich gegebenenfalls über eine Triangulation durchführen. Zeitgleich sollte eine Verdrängung bei überlagernden Punktsignaturen erfolgen.

Die Problematik der Überzeichnung bestimmter Flächen ist derzeit ebenso wenig zufriedenstellend gelöst. Insbesondere sollte eine geeignete Lösung gesucht werden, wenn zwei zu vergrößernde Flächen aneinandergrenzen und nach der Überzeichnung sich überlagern. Derzeit lassen sich die zu überzeichnenden Flächen über eine Tabelle bestimmen. Es ist zu überlegen, ob die Auswahl der Flächen eventuell interaktiv während der Generalisierung erfolgen soll.

Im Rahmen der Diplomarbeit ließ sich eine automatische Kartengenerierung einschließlich einer automatischen Schriftplatzierung nicht bewerkstelligen. Auch hier sollte eine Weiterentwicklung stattfinden. Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass eine Qualitätssichtung und gegebenenfalls eine manuelle Datenbereinigung nach der Generalisierung erfolgen müssen. Dies sollte vor der Kartengenerierung geschehen. Eine Trennung der automatischen Generalisierung und der automatischen Kartenerzeugung sollte demzufolge stattfinden.

Literaturverzeichnis

AdV (2008). *Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), Erläuterungen zum ATKIS® Basis-DLM*. Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland.

Bader, M. (2001). *Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization, Dissertation*. Zürich.

Bader, M. & Barrault, M. (2001). Cartographic Displacement in Generalization: Introducing Elastic Beams. *4th workshop on progress in automated map generalisation*. Peking.

Bader, M. & Barrault, M. (2000). Improving Snakes for Linear Feature Displacement in Cartographic Generalization. *5th International Conference on GeoComputation*. Manchester.

Bader, M., Barrault, M., Regnault, N., Mustière, S., Duchêne, C., Ruas, A. et al. (1999). *AGENT Workpackage D2 - Selection of Basic Algorithms*. Universität Zürich.

Bollmann, J. (2002a). Kartenmodell. In J. Bollmann & W. G. Koch (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 1, S. 438-439). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Bollmann, J. (2002b). Kartographische Generalisierung. In J. Bollmann & W. G. Koch (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 2, S. 21-23). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

Brassel, K. E. & Weibel, R. (1988). A Review and Conceptual Framework of Automated Map Generalization. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2 (3), S. 229-244.

- Burghardt, D. (2000). Automatisierung der kartographischen Verdrängung mittels Energieminimierung, Dissertation. In *Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C* (Bd. 536). München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.
- Burghardt, D. & Meier, S. (1997). Cartographic Displacement Using the Snakes Concept. In W. Förstner & L. Plümer (Hrsg.), *Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps* (S. 59-71). Basel: Birkhäuser Verlag.
- Burghardt, D., Schmid, S., Duchêne, C., Stoter, J., Baella, B., Regnaud, N. et al. (2008). Methodologies for the evaluation of generalised data derived with commercial available generalisation systems. *Workshop of the ICA Commission on Generalisation and Multiple Representation*. Montpellier.
- Burke, R. (2003). *Getting to know ArcObjects*. Redlands, California: ESRI Press.
- Carstensen, L. (1987). A comparison of simple mathematical approaches to the placement of spot symbols. *Cartographica*, 24 (3).
- Cheng, T. & Li, Z. (2006). Toward quantitative measures for the semantic quality of polygon generalisierung. *Cartographica*, 41 (2), S. 135-147.
- Douglas, D. H. & Peucker, T. K. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *The Canadian Cartographer*, 10 (2), S. 112-122.
- Edwardes, A., Burghardt, D., Bobzien, M., Harrie, L., Reichenbacher, T., Sester, M. et al. (2003). Map Generalisation Technology: Addressing The Need For A Common Research Platform. *21st International Cartographic Conference*, (S. 170-180). Durban.
- ESRI Deutschland (2010). *Weitere GIS Software*. Abgerufen am 29.10.2010 von FME: <http://www.esri-germany.de/products/other/fme.html>
- FME (2005). *Building Applikations with FME Objects*. Safe Software.
- FME (2010a). *FME Functions and Foctories, Dokumentation*. Safe Software.
- FME (2010b). *Readers and Writers, Dokumentation*. Safe Software.

- Hake, G. (1975). Zum Begriffssystem der Generalisierung. *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen*, S. 53-62.
- Hake, G. & Grünreich, D. (1994). *Kartographie* (7. Ausg.). Berlin, New York: de Gruyter.
- Harbeck, R. (1987). Das Avd-Vorhaben Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem (ATKIS) - Inhaltliche Konzeption. *NaKaVerm*, 1 (99).
- Harrie, L. & Weibel, R. (2007). Modelling the Overall Process of Generalisation. In W. Mackaness, A. Ruas & A. T. Sarjakowski (Hrsg.), *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications* (S. 67-87). Oxford: Elsevier.
- Hauert, J.-H. (2008). Aggregation in Map Generalization by Combinatorial Optimization, Dissertation. In *Veröffentlichungen der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C* (Bd. 626). München: Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.
- Hauert, J.-H. & Sester, M. (2008). Area Collapse and Road Centerlines based on Straight Skeletons. *Geoinformatica*, 12 (2), S. 169–191.
- Højholt, P. (2000). Solving space conflicts in map generalization: Using a finite element method. *Cartography and Geographic Information Science*, 27 (1), 65-73.
- ICA. (1973). *Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe*. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.
- Keates, J. S. (1989). *Cartographic Design and Production* (2. Ausg.). London: Longman Scientific and Technical.
- Keil, M., Kiefl, R. & Strunz, G. (2005). *CORINE Land Cover 2000 - Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland*. im Auftrag des Umweltbundesamtes. Oberpfaffenhofen: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
- Koch, W. G. (2002a). Klassenbildung. In J. Bollmann & W. G. Koch (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 2, S. 55-56). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.

- Koch, W. G. (2002b). Modellgeneralisierung. In J. Bollmann & W. G. Koch (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 2, S. 156). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Li, Z. (1996). Transformation of Spatial representation in scale dimension: a new paradigm for digital generalization of spatial data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31 (B3), S. 453-458.
- Mackaness, W. A. & Ruas, A. (2007). Evaluation in the Map Generalisation Process. In W. Mackaness, A. Ruas & A. T. Sarjakowski (Hrsg.), *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications* (S. 89-111). Oxford: Elsevier.
- Maul, R. (2007). Die Ableitung des Digitalen Landschaftsmodells 1:50 000 (DLM50) mittels der automatischen Modellgeneralisierung. *Mitteilungsheft der Thüringer Kataster- und Vermessungsverwaltung*, 24, S. 12-18.
- McMaster, R. B. (1987). Automated Line Generalization. *Cartographica*, 24 (2), S. 74-111.
- McMaster, R. B. (1989). The integration of simplification and smoothing algorithms. *Cartographica*, 26 (1), S. 101-121.
- McMaster, R. B. & Shea, K. S. (1992). *Generalization in Digital Cartography*. Washington D.C.: Association of American Geographers.
- Müller, A. (2002). Geoinformationssystem. In J. Bollmann & W. G. Koch (Hrsg.), *Lexikon der Kartographie und Geomatik* (Bd. 1, S. 304-305). Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Nickerson, B. G. (1988). Automated cartographic generalization for linear features. *Cartographica*, 25 (3), S. 15-66.
- Podrenek, M. (2002). Aufbau des DLM50 aus dem Basis-DLM und Ableitung der DTK50 - Lösungsansatz in Niedersachsen. In *Kartographie als Baustein moderner Kommunikation, Kartographische Schriften* (Bd. 6, S. 126-130). Bonn: Kirschbaum Verlag.
- Regnault, N. & McMaster, R. B. (2007). A Synoptic View of Generalisation Operators. In W. Mackaness, A. Ruas & A. T. Sarjakowski (Hrsg.), *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications* (S. 37-66). Oxford: Elsevier.

Robinson, A. H., Sale, R. & Morrison, J. L. (1978). *Elements of Cartography*. New York: Wiley & Sons.

Roth, R. E., Stryker, M. & Brewer, C. A. (2008). *A typology of multi-scale mapping operators*.

Safe Software (2010). *Developer Tools*. Abgerufen am 29. 10 2010 von FME Objects under the hood: <http://www.safe.com/partners/tools/under-the-hood.php>

Schürer, D. (2001). Ableitung von digitalen Landschaftsmodellen mit geringerem Strukturierungsgrad durch Modellgeneralisierung, Dissertation. In *Schriftreihe des Instituts für Kartographie und Geoinformation der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn* (Bd. 28). Bonn: Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Bonn.

Sester, M., Haunert, J.-H. & Anders, K.-H. (2008). Modell- und kartographische Generalisierung von topographischen und thematischen Information. (D. G. Kartographie, Hrsg.) *Kartographische Nachrichten*, 58 (6), S. 307-314.

Shea, K. S. & McMaster, R. B. (1989). Cartographic Generalization In A Digital Environment: When And How To Generalize. 9th International Symposium on Computer-Assisted Cartography, (S. 56-67). Baltimore.

Stoter, J., Baella, B., Blok, C., Burghardt, D., Duchêne, C., Pla, M. et al. (2010). State-of-the-art of automated generalisation in commercial software. EuroSDR.

Su, B. & Li, Z. (1995). An algebraic basis for digital generalization of area-patches based on morphological techniques. *The Cartographic Journal*, 32 (2), S. 148-153.

Su, B., Li, Z., Lodwick, G. & Müller, J.-C. (1997). Algebraic models for the aggregation of area features based upon morphological operators. *International Journal of Geographical Information Science*, 11 (3).

Töpfer, F. (1979). *Kartographische Generalisierung* (2 Ausg.). Gotha, Leipzig: VEB Hermann Haack, Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha/Leipzig.

Vermessungsamt Dresden (2008a). GDI Verfahrensdokumentation Blockkarte. Dresden.

Vermessungsamt Dresden (2008b). GDI Verfahrensdokumentation ESKN. Dresden.

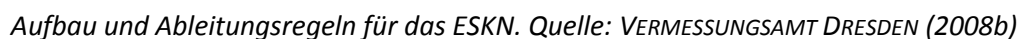
Vermessungsamt Dresden (2009). Strukturierung der BasisBlockKarte (BBK) und der Erweiterten Blockkarte (EBK). Dresden.

Weibel, R. & Burghardt, D. (2008). Generalization, On-The-Fly. In *Encyclopedia of GIS*.

Yao, L., Molenaar, M. & Kraak, M.-J. (2002). Semantic similarity evaluation model in categorical database generalization. *ISPRS Commission IV Symposium "Geospatial Theory, Processing and Applications"*. 4. Ottawa: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information, XXXIV.

Anhangsverzeichnis

Anhang A	Quellcode (<i>nur in der digitalen Ausgabe</i>)	111
Anhang B	Aufbaudiagramm des ESKN-Datenmodell	244
Anhang C	Tabelle zur Klassifikation der Flächenobjekte des ATKIS Basis-DLMs	245
Anhang D	Strukturierungs- und Klassifikationstabelle der EBK	249
Anhang E	Tabelle über mögliche Programmfehler	251



Anhang C | Strukturierungs- und Klassifikationstabelle der EBK

Strukturtyp Ebene 1 BBK		Nutzungsart Ebene 2 EBK		Diff. Strukturtyp Ebene 3 EBK		Klassifizierung zu
A	Offene Bebauung	A1	Wohnbebauung	A11	Dörfliche Bebauung	Wohnbebauung
				A12	Einfam.-/ Doppelhausbeb.	Wohnbebauung
				A13	Mehrfam.- Einzelhaus/ Würfelhausbeb.	Wohnbebauung
		A2	Mischbebauung	A21	Dörfliche Bebauung	Mischbebauung
				A22	sonstige Mischbe- bauung	Mischbebauung
		A3	Öffentl. Gebäude	A31	Öffentl. Gebäude	Öffentl. Gebäude
		A4	Ind./Gewerbe	A41	Ind./Gewerbe	Ind./Gewerbe
B	Zeilen-/ Reihen- bebauung	B1	Wohnbebauung	B11	Reihenhausbeb.	Wohnbebauung
				B12	Zeilenbeb.	Wohnbebauung
				B13	Plattenbauten (Zeilen)	Wohnbebauung
				B14	Punkthochhäuser	Wohnbebauung
		B2	Mischbebauung	B21	Mischbebauung	Mischbebauung
		B3	Öffentl. Gebäude	B31	Öffentl. Gebäude	Öffentl. Gebäude
		B4	Ind./Gewerbe	B41	Ind./Gewerbe	Ind./Gewerbe
C	Geschlossene Bebauung	C1	Wohnbebauung	C11	Blockrandbeb.	Wohnbebauung
				C12	Gebäudeketten	Wohnbebauung
		C2	Mischbebauung	C21	Mischbebauung	Mischbebauung
		C3	Öffentl. Gebäude	C31	Öffentl. Gebäude	Öffentl. Gebäude
		C4	Ind./Gewerbe	C41	Ind./Gewerbe	Ind./Gewerbe
D	Sonstige (großflä- chige) Bebauung	D1	Wohnbebauung	D11	Wohnbebauung	Wohnbebauung
				D21	Mischbebauung	Mischbebauung
				D31	Öffentl. Gebäude	Öffentl. Gebäude
				D41	Gewerbe/ Industrie-	Ind./Gewerbe

				D42 D43 D44	hallen/ großfl. Einzelhandel Industr. Landwirtschaft Ver- und Entsorgung Sonstige großfl./zweckgeb. Beb.	Ind./Gewerbe Ind./Gewerbe Ind./Gewerbe
E	Sport- und Freizeitanlagen	E1	Bäder	E11 E12	Hallenbad Freibad	Grünanlage Grünanlage
		E2	Campingplätze	E21	Campingplätze	Grünanlage
		E3	Sonstige Sport- u. Freizeitanlagen	E31 E32	Sonstige Sport- u. Freizeitanlagen (unbebaut) Sonstige Sport- u. Freizeitanlagen (bebaut)	Grünanlage Grünanlage
F	Grün- und Freiflächen	F1	Kleingärten nach KEK	F11	Kleingärten nach KEK	Obstanbau/ Kleingärten
		F2	Sonstige Gärten	F21	Klein- u. Wochenendgärten (nicht KEK)	Obstanbau/ Kleingärten
				F22	Große Hausgärten	Obstanbau/ Kleingärten
				F23	Grabeland im Außenbereich	Ackerland/Brache
		F3	Verkehrsbegleitgrün	F31	Verkehrsbegleitgrün	Grünanlage
G	Bahngelände	G1	Bahngelände	G11	Bahngelände	Verkehr
H	Landwirtschaftlich genutzte Flächen, Erwerbsgartenbau	H1	Acker	H11	Acker	Ackerland/Brache
		H2	Obstplantagen	H21	Obstplantagen	Obstanbau/ Kleingärten
		H3	Weinbau	H31	Weinbau	Weinbau
		H4	Grünland	H41	Grünland	Grünland
		H5	Erwerbsgartenbau	H51	Gärtnerei- u. Gewächshausstandorte	Obstanbau/ Kleingärten
				H52	Freibeet u. Folie	Obstanbau/

				H53	Baumschule	Kleingärten Obstanbau/ Kleingärten
I	Parkanlagen, Zoo, Botanischer Garten	I1	Parkanlagen	I11	Parkanlagen	Grünanlage
		I2	Zoo, Bot. Garten	I21	Zoo, Bot. Garten	Grünanlage
K	Friedhöfe	K1	Friedhöfe	K11	Friedhöfe	Friedhof
L	Wald/Gehölz	L1	Wald/Gehölz	L11	Wald/Gehölz	Wald/Gehölz
M	Gewässer	M1	Fließgewässer (Elbe)	M11 M12	Fließgewässer (Elbe)	Gewässer Gewässer
		M2	Stehende Ge- wässer (>= 1 ha)	M21 M22 M23	Stauseen Kiesseen sonst. Stehende Ge- wässer	Gewässer Gewässer Gewässer
		M3	Rückhalteanla- gen	M31	Rückhalteanlagen	Gewässer
N	Abgrabungen/ Aufschüttungen	N1	Abgrabungen/ Aufschüttungen	N11	Abgrabungen/ Auf- schüttungen	unbestimmt
O	Baustellen	On	Baustellen (unbek. künftige Nutzung)	Onn	Baustellen (unbe- kannte künftige Nut- zung)	unbestimmt
		Ox	Baustellen (be- kannte künftige Nutzung)	Oxx	Baustellen (bekannte künftige Nutzung)	<i>entsprechend der künftige Nutzung</i>
P	Verkehr	P1	Autobahn inkl. Auffahrten	P11	Autobahn inkl. Auf- fahrten	Verkehr
		P2	Parkplätze und großfl. Gara- genanlagen	P21 P22	Parkplätze Garagen	Verkehr Verkehr
		P3	Plätze	P31	Plätze	Verkehr
		P4	Flughafen/ - platz	P41 P42	Bebaute/versiegelte Bereiche des Flug- platzes Unbebau- te/unversiegelte Bereiche des Flug- platzes	Verkehr Grünanlage
		P5		P51		Verkehr
		P6		P61		Verkehr

Q	Unbebaute Siedlungs- u. Brachflächen	Q1	Unbebaute Siedlungsfl. in Nutzung	Q11	Unbebaute Siedlungsfl. in Nutzung	Ackerland/Brache
		Q2	Ungenutzte sonst. Flächen, z.T. Ruderalvegetation	Q21 Q22 Q23	Brachen Vorbereitete Bauflächen ohne sichtbaren Baufortschritt Sonst. Brachen, Ruderalflächen	Ackerland/Brache unbestimmt Grünanlage

Strukturierung der BasisBlockKarte (BBK) und der Erweiterten Blockkarte (EBK).

Quelle: VERMESSUNGSAMT DRESDEN (2009)

Anhang D | Tabelle zur Klassifikation der Flächenobjekte des ATKIS Basis-DLMs

Objektklasse	OBJART	FKT	KLT	Klassifizierung zu
Wohnbaufläche	2111	0	0	Wohnbebauung
Industrie- und Gewerbefläche	2112	0	0	Industrie/Gewerbe
Fläche gemischter Nutzung	2113	0	0	Gemischte Bebauung
Fläche besonderer funktionaler Prägung	2114	9998	0	Besondere Bebauung
Bergbaubetrieb	2121	0	0	Industrie/Gewerbe
Deponie	2122	0	0	Deponie
Kraftwerk	2126	0	0	Industrie/Gewerbe
Umspannstation	2127	0	0	Industrie/Gewerbe
Klärwerk	2129	0	0	Industrie/Gewerbe
Gärtnerei	2132	0	0	Industrie/Gewerbe
Heizwerk	2133	0	0	Industrie/Gewerbe
Wasserwerk	2134	0	0	Industrie/Gewerbe
Sportanlage	2201	0	0	Grünanlage
Freizeitanlage	2202	0	0	Grünanlage
Friedhof	2213	0	0	Friedhof
Grünanlage	2227	9997	0	Grünanlage
Grünanlage (Park)	2227	5101	0	Grünanlage
Campingplatz	2228	0	0	Grünanlage
Tagebau/Steinbruch	2301	0	0	Deponie
Halde	2302	0	0	Deponie
Absetzbecken	2314	0	0	Ackerland/Brache
sonstiger Turm	2316	9999	0	Industrie/Gewerbe
Pumpe	2325	0	0	Industrie/Gewerbe
Schwimmbecken	2345	0	0	Gewässer
Parkplatz	3103	1802	0	Ackerland/Brache
Verkehrsfläche	3103	1809	0	Ackerland/Brache
Platz (sonstige)	3103	9999	0	Ackerland/Brache

Hubschrauberlandeplatz	3302	2004	0	Industrie/Gewerbe
Segelfluggelände	3302	2005	0	Industrie/Gewerbe
Bahnhofsanlage	3501	0	0	Industrie/Gewerbe
Raststätte	3502	0	0	Industrie/Gewerbe
Ackerland	4101	0	0	Ackerland/Brache
Grünland (Verkehrsbegleitgrün)	4102	2740	0	Grünland
Grünland (Landwirtschaftsfläche)	4102	2730	0	Grünland
Grünland (sonstige)	4102	9999	0	Grünland
Gartenland	4103	0	0	Grünland
Heide	4104	0	0	Grünland
Sumpf	4106	0	0	Grünland
Wald	4107	0	0	Wald/Gehölz
Gehölz	4108	0	0	Wald/Gehölz
Obstbaumplantage	4109	0	4000	Grünland
Sonderkulturen (sonstige)	4109	0	9999	Grünland
Baumschule	4109	0	1000	Grünland
Weingarten	4109	0	3000	Grünland
Nasser Boden	4111	0	0	Grünland
Fläche, z.Z. unbestimmbar	4199	0	0	Ackerland/Brache
Fluss	5101	0	0	Gewässer
Kanal	5102	0	0	Gewässer
Graben	5103	0	0	Gewässer
Binnensee/Teich	5112	0	0	Gewässer

Anhang E | Tabelle über mögliche Programmfehler

Fehlermeldung	mögliche Ursache	mögliche Problembehebung
000	Unbekannt	Unbekannt
001	Ungültige ArcEditor-Lizenz	Lizenz prüfen, ggf. erneuern.
002	Ungültige FME-Lizenz	Lizenz prüfen, ggf. erneuern. Möglicherweise ist FME für ArcGIS unter FME Administrator nicht erweitert.
003	Fehler beim Zugriff auf db81n.world	Prüfen des Nutzernamens und Passwortes.
004	Fehler beim Zugriff auf VA	Prüfen des Nutzernamens und Passwortes.
005	Fehler beim Schreiben der FileGDB	Unbekannt
006	Fehler beim Aufruf der Parameterdatenbank	Prüfen, ob verweisender Pfad auf Parameterdatenbank korrekt ist.
007	Fehler beim Aufruf der FileGDB	Prüfen, ob Prozessdatenbank (FileGDB) erstellt wurde.
008	Fehler bei der Überarbeitung von Features	Sicherstellen, dass die Prozessdatenbank (FileGDB) und deren Featureclasses nicht von anderen Anwendungen benutzt werden.
009	Fehler beim Kompaktieren der Parameterdatenbank	Sicherstellen, dass die Prozessdatenbank und deren Featureclasses nicht von anderen Anwendungen benutzt werden.
010	Fehler beim Kompaktieren der Prozessdatenbank (FileGDB)	Sicherstellen, dass die Prozessdatenbank und deren Featureclasses nicht von anderen Anwendungen benutzt werden.

011	Fehler beim Ausführen einer FME-Factory	<p>Prüfen, ob die Konfigurationen korrekt sind.</p> <p>Dies gilt insbesondere die Angabe für die Linienglättung in der Parametertabelle</p>
012	Fehler bei der Flächenaggregation	<p>Bei Arbeitsspeicherüberschreitung ist das Programm unter Error Modi > Modus 1 neu zu starten.</p> <p>Bei fehlerhaften Features ist die Featureclass „VB_Brutto_CI“ der Prozessdatenbank zu öffnen und das Feature mit dem kleinsten Flächeninhalt und dem SKEL-Wert 1 auszuschließen (SKEL-Wert manuell auf 2 festsetzen). Das Programm ist dann unter Error Modi > Modus 1 neu zu starten. Gleiches gilt beim vollständigen Programmabsturz.</p> <p>Achtung: Vor Programmneustart unter Modus 1 müssen die Eingaben auf dem Formular (Maßstab, Datengrundlage etc.) geprüft werden.</p>
013	Fehler bei der ReFlächenaggreaction	<p>Bei Arbeitsspeicherüberschreitung ist das Programm unter Error Modi > Modus 2 neu zu starten.</p> <p>Bei fehlerhaften Features ist die Featureclass „VB_Brutto_CI2“ der Prozessdatenbank zu öffnen und das Feature mit dem kleinsten Flächeninhalt und dem SKEL-Wert 1 auszuschließen (SKEL-Wert manuell auf 2 festsetzen). Das Programm ist dann unter Error Modi > Modus 2 neu zu starten. Gleiches gilt beim vollständigen Programmabsturz.</p> <p>Achtung: Vor Programmneustart unter Modus 2 müssen die Eingaben auf dem Formular (Maßstab, Datengrundlage etc.) geprüft werden.</p>

014 Fehler bei der
ReFlächenaggreaction2

Bei Arbeitsspeicherüberschreitung ist das Programm unter **Error Modi > Modus 3** neu zu starten.

Bei fehlerhaften Features ist die Featureclass „**VB_Brutto_CI2**“ der Prozessdatenbank zu öffnen und das Feature mit dem kleinsten Flächeninhalt und dem SKEL-Wert 1 auszuschließen (SKEL-Wert manuell auf 2 festsetzen). Das Programm ist dann unter **Error Modi > Modus 3** neu zu starten. Gleiches gilt beim vollständigen Programmabsturz.

Achtung: Vor Programmneustart unter Modus 3 müssen die Eingaben auf dem Formular (Maßstab, Datengrundlage etc.) geprüft werden.